



ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВ ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ

**ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
(ЧАСТИНА 2)**



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВ
ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
(ЧАСТИНА 2)**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 132 «Матеріалознавство»,
освітніми програмами «Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»,
«Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання», «Металознавство та
комп'ютерне моделювання процесів термічної обробки»*

Біла Церква
ТОВ «Офсет»

2019

*Гриф надано Методичною радою Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського
(протокол № 7 від 01.04.2019 р.)*

*за поданням Вченої ради інженерно-фізичного факультету
(протокол № 03/19 від 25.03.2019 р.)*

Укладачі: *Гурія Ірина Миранівна*, канд. техн. наук, доцент
Лук'яненко Іван Віталійович, асистент

Відповідальний редактор *Ямшинський М.М.*, канд. техн. наук, доцент

Рецензент *Степанчук Анатолій Миколайович*, канд. техн. наук, професор, КПП ім. Ігоря Сікорського

Т 38 Технологія виробництв та обробка матеріалів : лабораторний практикум (частина 2) [Текст] : навч. посіб. для студ. спеціальності 132 «Матеріалознавство», освітні програми «Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів», «Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання», «Металознавство та комп'ютерне моделювання процесів термічної обробки» / КПП ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: І. М. Гурія, І. В. Лук'яненко. – Біла Церква : ТОВ «Офсет», 2019. – 96 с.

Навчальний посібник з кредитного модулю «Технологія виробництв та обробка матеріалів 2» містить лабораторні роботи, які спрямовані на вивчення студентами технологічних процесів виготовлення виробів різними способами лиття, дослідження властивостей матеріалів для отримання виливків, процесів формоутворення та оброблення розплавів.

До кожної лабораторної роботи входять наступні розділи: загальні відомості, обладнання та матеріали, послідовність виконання роботи, аналіз отриманих результатів та висновки, оформлення звіту, контрольні завдання та запитання для підготовки до роботи, список рекомендованої літератури.

Основну увагу в лабораторних роботах приділено розвитку навичок самостійної роботи студентів, значна частина якої виконується на рівні дослідження.

Навчальний посібник призначено для студентів інженерно-фізичного факультету КПП ім. Ігоря Сікорського та може бути рекомендовано для закладів вищої освіти України з викладанням спеціальності 132 «Матеріалознавство».

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ЗАГАЛЬНІ ПРАВИЛА З БЕЗПЕКИ.....	6
Лабораторна робота № 1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ У РАЗОВІЙ ПІЩАНІЙ ФОРМІ	8
Лабораторна робота № 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИВАРНИХ СТРИЖНІВ	21
Лабораторна робота № 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИВАРНОЇ ФОРМИ ЗА РОЗНІМНОЮ МОДЕЛЛЮ.....	30
Лабораторна робота № 4. ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛЕННЯ СТУПЕНЮ УЩІЛЬНЕННЯ ФОРМУВАЛЬНОЇ СУМІШІ ЗА ВИСОТОЮ ОПОКИ ПРИ МАШИННОМУ ФОРМУВАННІ	40
Лабораторна робота № 5. ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ НА СТИСК. ВПЛИВ СТУПЕНЮ УЩІЛЬНЕННЯ НА МІЦНІСТЬ СУМІШЕЙ	49
Лабораторна робота № 6. ВИЗНАЧЕННЯ ГАЗОПРОНИКНОСТІ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ. ВПЛИВ СТУПЕНЮ УЩІЛЬНЕННЯ НА ГАЗОПРОНИКНІСТЬ СУМІШЕЙ.....	57
Лабораторна робота № 7. ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ МЕТОДОМ ВІДЦЕНТРОВОГО ЛИТТЯ. ВПЛИВ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ФОРМИ НА ГУСТИНУ ВИЛИВКІВ ВИГОТОВЛЕНИХ ВІДЦЕНТРОВИМ ЛИТТЯМ	67
Лабораторна робота № 8. РІДКОТЕКУЧІСТЬ СПЛАВІВ. ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЛИВАННЯ ФОРМИ НА РІДКОТЕКУЧІСТЬ.....	76
Лабораторна робота № 9. МОДИФІКУВАННЯ СИЛУМІНІВ. ВПЛИВ МОДИФІКУВАННЯ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СИЛУМІНІВ.....	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	93
ДОДАТОК А. ФОРМУВАЛЬНИЙ І ОБРОБЛЮВАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ...	94

ВСТУП

Матеріали лабораторного практикуму представлено відповідно до робочої навчальної програми кредитного модулю «Технологія виробництв та обробка матеріалів 2», який викладають студентам інженерно-фізичного факультету спеціальності 132 Матеріалознавство за освітніми програмами «Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів», «Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання», «Металознавство та комп'ютерне моделювання процесів термічної обробки».

Виконання лабораторних робіт з кредитного модулю забезпечить формування у студентів здатностей: вчитися та оволодівати сучасними знаннями; застосування знань у практичних ситуаціях; виявляти, ставити та вирішувати проблеми; приймати обґрунтовані рішення; спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово; працювати автономно та у команді; застосовувати знання і розуміння міждисциплінарного інженерного контексту і його основних принципів у професійній діяльності.

Основну увагу в лабораторних роботах з кредитного модулю приділено розвитку навичок самостійної роботи студентів, значна частина якої виконується на рівні дослідження.

Перед студентами ставиться завдання:

- вивчення технологічних процесів оброблення матеріалів різними способами лиття;
- набуття практичних навичок у виготовленні дослідних зразків та виробів;
- проведення стандартних випробувань щодо визначення фізичних, механічних та технологічних властивостей матеріалів та готових виробів;
- оброблення та аналізу отриманих результатів.

В кожній лабораторній роботі наведені мета, загальні відомості, обладнання та матеріали, послідовність виконання роботи, аналіз отриманих

результатів та висновки, оформлення звіту, контрольні завдання та запитання для підготовки до роботи, список рекомендованої літератури.

До початку лабораторного заняття студент повинен підготувати протокол для виконання лабораторної роботи.

Після ознайомлення з правилами роботи в лабораторії студент з дозволу викладача може приступити до виконання роботи.

ЗАГАЛЬНІ ПРАВИЛА З БЕЗПЕКИ

Лабораторні роботи включають в себе наступні технологічні операції:

1. Виготовлення, підготовка і складання ливарних форм.

2. Виготовлення складних і простих стрижнів.

3. Заливання розплавом форм.

4. Вибивання форми після затвердіння і охолодження виливка.

5. Фінішне оброблення виливків (відокремлення ливникової системи, видалення стрижнів із виливків, зачищення виконується навчальними майстрами).

6. Виготовлення зразків для визначення властивостей формувальних та стрижневих сумішей.

7. Використання обладнання спеціальних видів лиття.

Заходи з техніки безпеки під час виконання технологічних операцій передбачають дотримання наступних правил:

– огляд місця виконання роботи: на робочому місці не повинно бути зайвих предметів. Модельне оснащення, опоки та інструмент мають знаходитися в справному стані;

– під час формоутворення і маніпулювання опоками маса вантажу не повинна перевищувати 20 кг на одну особу (чоловічої статі);

– форми слід збирати та навантажувати на сухій підлозі;

– під час складання форм виключати можливість проривання металу по розніму форми;

– витримувати відстань між зібраними під заливання формами в межах від 200 мм до 400 мм;

– під час вимірювання температури металу в печі необхідно одягати каску, захисні окуляри, спецодяг;

– вимірювання температури металу слід здійснювати за відімкненої від струму печі;

- заливання проводити в спецодязі, рукавицях і захисних окулярах;
 - особи, які не приймають безпосередньої участі у виконанні операції пов'язаних із рідким металом мають знаходитися на безпечній відстані від печі та місця заливання рідкого металу (не менше 3 м);
 - вибивання виливків з форм здійснювати після їх охолодження у спеціально відведеному місці;
 - виливок після вибивання необхідно брати щипцями;
 - під час роботи слід бути уважним і дисциплінованим.
- Усі роботи виконуються з дозволу і під наглядом викладачів і навчальних майстрів, що проводять лабораторні роботи.

Лабораторна робота № 1

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ У РАЗОВІЙ ПІЩАНІЙ ФОРМІ

Мета роботи – вивчити технологічний процес виготовлення виливків у разових піщаних формах та виготовити художній виливок, візуально оцінити якість отриманого виробу.

1 Загальні відомості

Металеві вироби використовують практично у всіх галузях діяльності людей: промисловості, транспорті, будівництві, медицині, побуті, мистецтві, відпочинку тощо. Для їх отримання використовують різноманітні способи: оброблення тиском, лиття, різання, пресування порошків з подальшим спіканням, зварювання або їх комбінація.

Найбільш розповсюдженим способом є лиття, сутність якого полягає у заливанні розплавленого металу у попередньо підготовлену форму. Ливарна форма уявляє собою систему елементів, які утворюють порожнину, в котрій з рідкого сплаву формується виливок.

Основну масу виливків у світовій практиці виготовляють в разових піщаних формах, які використовують лише для одного заливання розплаву та руйнують під час вилученні виливка з них. В таких формах можна отримати заготовку або деталь практично будь-якої конфігурації, складності та маси із сплавів чорних та кольорових металів. Найбільш поширеними є сплави на основі заліза, алюмінію, міді, магнію та титану.

Державний стандарт України 2541-94 [1] регламентує основні терміни і визначення, які використовують у ливарному виробництві:

Виливок – виріб або заготовка (напівфабрикат) з розмірами, відповідними або близькими до розмірів деталі, який одержано технологічним методом лиття.

Ливарна форма – система елементів, які утворюють робочу порожнину, під час заливання якої розплавленим металом формується виливок.

Разова ливарна форма – ливарна форма, яка призначена для одержання одного виливка або блоку виливків і руйнується після його (їх) виймання.

Ливарна модель – модель для утворення в ливарній формі відбитка, який відповідає конфігурації та розмірам виливка.

Ливарна модель рознімна – ливарна модель, яка має рознім, що відповідає розніму форми.

Ливарна модель нерознімна – ливарна модель, яка не має розніму або відокремлюваних частин.

Опока – пристрій для утримування формувальної суміші під час виготовлення ливарної форми, її транспортування та заливання рідким металом.

Напівформа – ливарна опока із ущільненою в ній формувальною сумішшю і вилученою моделлю.

Ливникова система – система каналів та елементів ливарної форми для підведення рідкого металу в порожнину форми, забезпечення її заповнення і живлення виливка у процесі твердіння.

Ливникова чаша – елемент ливникової системи призначений для приймання струменя розплаву, відділення від нього шлакових краплин та спрямування його руху через стояк у порожнину ливарної форми.

Ливникова воронка – елемент ливникової системи призначений для приймання струменя розплаву та спрямування його руху через стояк у порожнину ливарної форми.

Стояк – елемент ливникової системи у вигляді вертикального або нахиленого каналу для передавання розплаву з ливникової чаші або воронки до інших елементів ливникової системи або безпосередньо у ливарну форму.

Шлаковловлювач – елемент ливникової системи призначений для затримання шлаку та неметалевих вкраплин та підведення розплаву від стояка до живильників.

Живильник – елемент ливникової системи призначений для підведення розплаву в порожнину ливарної форми.

Випор – елемент ливникової системи призначений для видалення повітря з порожнини ливарної форми та контролю закінчення її заливання.

Надлив – елемент ливникової системи призначений для живлення розплавом теплових вузлів виливка та забезпечення принципу спрямованого твердіння.

Лад опоки (напівформи) – базова площина під час формування та складання ливарної форми, яка визначає її технологічну герметизацію під час заливання металом та розмірну точність виливка по вертикалі від лінії розніму. Лад опоки відповідає площині розніму форми.

Контрлад опоки (напівформи) – площина, протилежна до ладу опоки (напівформи).

Розділове покриття – рідке або пилоподібне покриття, яке наноситься тонким шаром на поверхню модельного оснащення для запобігання прилипання до нього формувальної або стрижневої суміші.

Модельна плита – плита, яка оформлює рознім ливарної форми та несе на собі закріплені частини моделі, включаючи ливникову систему, та яка служить для набивання опочних та безопочних форм.

Підмодельна плита (щиток) – металеві або дерев'яні плити, які утворюють необхідну поверхню для встановлення моделей та опок під час ручного формування.

Формувальний шаблон – плоский дерев’яний скребок з прямолінійною або фасонною ріжучою кромкою, який застосовують під час безмодельного (шаблонного) виготовлення ливарних форм для отримання крупних виливків у одиничному виробництві.

Стрижневий шаблон – плоский дерев’яний скребок з прямолінійною або фасонною ріжучою кромкою, який застосовують для отримання крупних круглих стрижнів (без застосування стрижневих ящиків).

Модельний комплект – комплект формоутворювальних виробів, необхідний для утворення під час формування робочої порожнини ливарної форми. Включає в себе ливарну модель, стрижневі ящики, моделі ливникової системи, формувальні, контрольні та складальні шаблони для конкретного виливка.

Складання форми – процес установа, з’єднання та закріплення ливарних стрижнів у ливарній формі та частин ливарної форми між собою.

Вибивання виливків – видалення затверділих і охолоджених до зазначеної температури виливків із разових ливарних форм.

Обрубка виливків – відокремлення від виливків елементів ливникової системи, заливів по різному ливарної форми і нерівностей поверхні.

Очищення виливків – очищення поверхні виливків від пригару, залишків формувальної суміші і ливарних стрижнів.

Зачищення виливків – механічне оброблення поверхні виливків для приведення її у відповідність з вимогами щодо якості поверхні.

1.1 Схема узагальненого технологічного процесу виготовлення виливка

Технологічний процес виробництва виливка складається з ряду операцій (рис. 1.1), які виконують як паралельно, так і послідовно у різних відділеннях ливарного цеху.

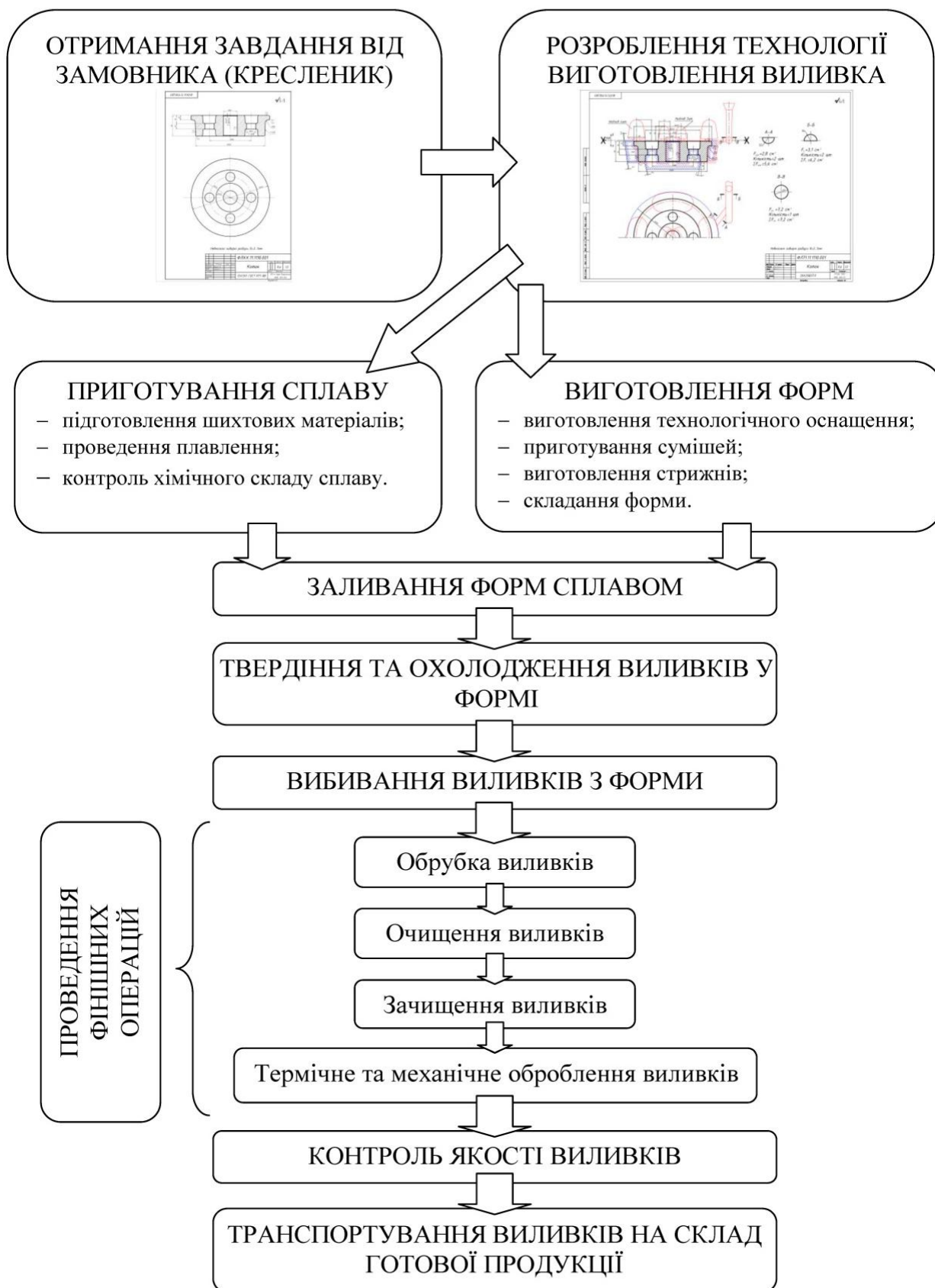


Рисунок 1.1 – Блок-схема узагальненого технологічного процесу виготовлення виливка

Технологічний процес виготовлення виливка має відповідати певним технічним вимогам до деталей та литих заготовок. Технічні вимоги регламентуються:

- креслеником деталі;
- окремими вимогами, які додатково може встановлювати замовник;
- державними та іншими стандартами, які встановлюють вимоги до хімічного складу, механічних властивостей, точності геометричної форми та розмірів виливка, стану зовнішньої та внутрішньої поверхонь, отримання у виливках відповідних структур, як за розмірами зерна, так і за фазовим складом, виявлення та виправлення поверхневих та внутрішніх ливарних дефектів.

При цьому організація технологічного процесу виготовлення виливків має забезпечувати дотримання вимог з охорони праці та навколишнього середовища. В той же час стоїть завдання отримання виливка з мінімальним припуском на механічне оброблення та мінімальною вартістю.

Основними операціями під час отримання виливка є приготування розплаву та виготовлення ливарної форми.

1.2 Технологія виготовлення художнього виливка у разовій формі

Еволюція технологічного процесу виготовлення разової ливарної форми впродовж тисячоліть проходила від простої одnobічної форми з глиняної пасти та каменю (перші ливарні форми датовані III тис. до н. е.) до надскладних форм, отриманих за допомогою технологій 3d-друку (XXI ст. н. е.).

Паралельно з еволюцією форми відбувався розвиток матеріалів, з яких виготовляли вироби – замість металів почали використовувати їхні сплави, які в порівнянні з чистими металами, мали нижчу температуру плавлення, більшу рідкотекучість, краще заповнювали ливарну форму, мали більшу твердість та міцність.

Упродовж цієї еволюції в технологічний процес додавалися певні операції, поява яких була обумовлена невпинним розвитком технологій на базі фундаментальних та точних наук. Це призвело до перетворення ливарної справи у ливарного виробництва з науково обґрунтованими технологічними процесами.

Але й досі унікальні художні вироби виготовляють за разовими піщаними формами, використовуючи спосіб ручного формування. Впродовж тисячоліть такі вироби забезпечують культурну спадщину людства, прикрашаючи фасади споруд, інтер'єри будівель, площі, сквери у вигляді скульптурних композицій та архітектурних ансамблів. Більшість з них є візитними картками міст у всьому світі.

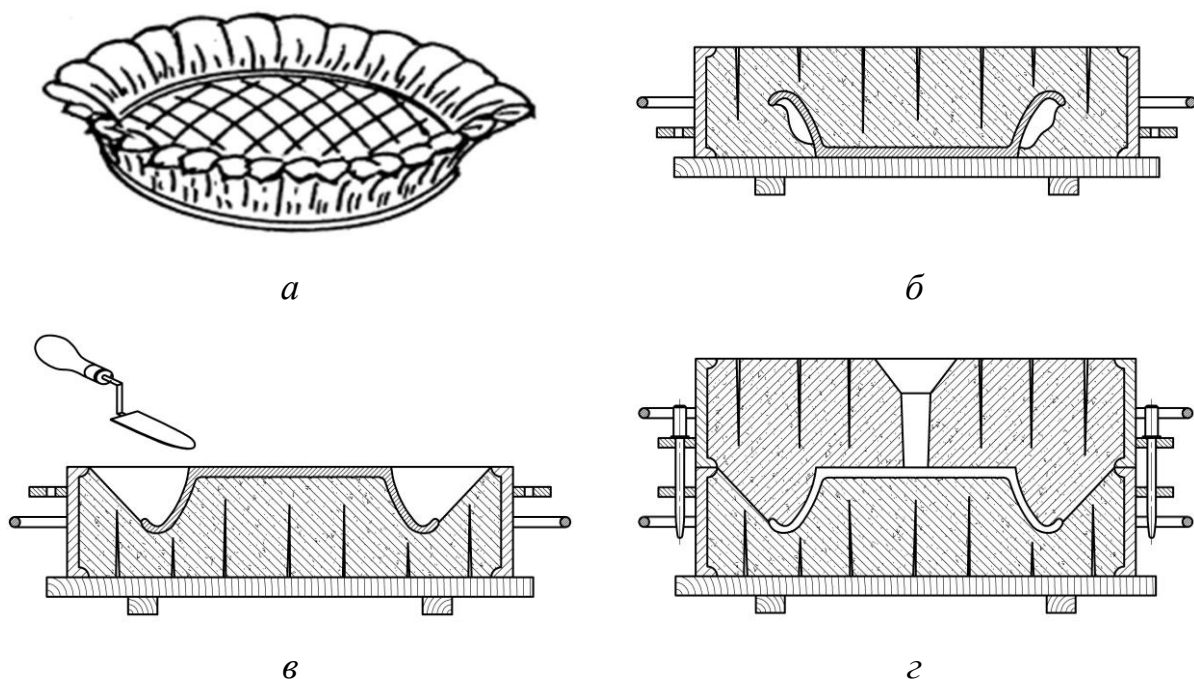
Під час виготовлення художніх виробів протягом декількох сторіч використовували ряд спеціальних прийомів ручного формування, які не втратили актуальності й сьогодні. До них належать: формування з підрізуванням; формування з «фальшивою опокою»; формування у ковалках, формування за моделями з відокремлюваними частинами; формування з перекидним болваном; формування у трьох опоках (з двома поверхнями рознімання); формування за шаблоном.

В багатьох випадках під час роботи з моделями складної конфігурації застосовують операцію підрізування. Вона необхідна, якщо модель щільно не прилягає до модельної плити або має виступаючі частини, при цьому формувальна суміш набивається у зазори між краями моделі та площиною модельної плити, що не дає змоги вилучити модель без руйнування форми. Тому, після виготовлення та перевертання нижньої напівформи, суміш з цього зазору вирізають гладилкою або ланцетом (додаток А), в результаті чого утворюється фасонний рознім форми.

Приклад виконання операції підрізування наведено на рисунку 1.2.

Модель декоративної таці «соняшник» (рис. 1.2, а) встановлюють на підмодельну плиту, накривають нижньою опокою, засипають формувальною

сумішшю і ущільнюють суміш (рис. 1.2, б). Виготовлену напівформу разом з моделлю перевертають на 180° і виконують операцію підрізування (рис. 1.2, в). На модель та фігурну площину розніму наносять розділове покриття. На нижню напівформу встановлюють верхню опоку, модель стояка та, за необхідністю, моделі інших елементів ливникової системи, і виготовляють верхню напівформу (рис. 1.2, г). Після цього верхню напівформу знімають з нижньої, вилучають моделі виливка та елементів ливникової системи і остаточно складають форму під заливання.



а – модель; *б* – нижня напівформа; *в* – операція підрізування; *г* – форма у складеному вигляді

Рисунок 1.2 – Послідовність формування з підрізуванням художнього виливка

1.3 Основні види дефектів у художніх виливках

Під час виготовлення художніх виливків у піщано-глинясті форми, можливе виникнення дефектів, через які їх неможливо використовувати за

призначенням. Якщо ці дефекти неможливо виправити то виливок бракують та відправляють на переплавлення. До основних видів дефектів належать:

- **недолив** – дефект у вигляді неповного утворення виливка внаслідок не заповнення порожнини ливарної форми розплавом під час заливання;

- **незлитина** – дефект у вигляді отвору довільної форми або наскрізної щілини в тілі виливка, що утворилася в результаті не злиття зустрічних потоків розплаву;

- **перекіс** – дефект у вигляді зміщення однієї частини виливка відносно осей або поверхонь іншої частини по роз'єму форми, моделі або опок внаслідок їхнього неточного встановлення та фіксації під час формування або складання форми;

- **різностінність** – дефект у вигляді збільшення або зменшення товщини стінок виливка внаслідок зміщення, деформації або спливання стрижня;

- **жолоблення** – дефект у вигляді спотворення конфігурації виливка під впливом напружень, які виникають під час його охолодження;

- **пригар** – дефект у вигляді важковідокремлюваного специфічного шару на поверхні виливка, який утворився внаслідок взаємодії матеріалу форми з розплавом;

- **засмічення** – дефект у вигляді формувального матеріалу, що впровадився в поверхневі шари тіла виливка за рахунок його захоплення потоками металу;

- **груба поверхня** – дефект у вигляді шорсткості поверхні виливка з параметрами, які перевищують допустимі значення;

- **газова раковина** – дефект у вигляді порожнин, утворених газами, які виділяються з розплаву або замішуються у розплав;

- **усадкова раковина** – дефект у вигляді відкритої або закритої порожнини з грубою, іноді окисленою поверхнею, яка утворилася внаслідок усадки під час кристалізації металу;

– **піщана/шлакова раковина** – дефект у вигляді порожнини цілком або частково заповненої формувальними матеріалами/шлаком.

2 Обладнання та матеріали

Модель художнього виливка, пара опок, підмодельна плита, моделі елементів ливникової системи (ливникової воронки, стояка, шлаковловлювача, випора), центрувальні штирі, лопата, гостра та плоска трамбівки, гладилка, ланцет, лінійка, вентиляційна голка, молоток, заливальний ківш, кліщі, формувальна суміш, сріблястий графіт, алюмінієвий розплав.

3 Послідовність виконання роботи

Виконання лабораторної роботи проводять у наступній послідовності:

1. Під керівництвом викладача та учбового майстра ознайомитись із формувальним та оброблювальним інструментом і модельно-опочним оснащенням, яке використовують під час ручного формування.

2. Отримати від викладача модель художнього виливка з металу, пластмаси, дерева чи гіпсу (барельєф, підставка, попільничка, блюдце тощо).

Примітка. Студент сам може підготувати будь-який художній виріб, копію якого бажає зробити на лабораторній роботі (бажано не дуже об'ємний, з максимальним габаритним розміром 160 мм).

2. На підмодельну плиту встановити модель, встановити нижню опоку вушками донизу.

3. Посипати модель розділовим покриттям.

4. Через сито просіяти на модель облицювальний шар суміші товщиною від 20 мм до 40 мм, який повинен покрити підмодельну плиту та модель.

5. Заповнити опоку до половини наповнювальною сумішшю.

6. Ущільнити суміш навколо моделі гострою трамбівкою, для того, щоб зафіксувати її положення на підмодельній плиті та запобігти зміщенню під час подальшого трамбування суміші, та ущільнити суміш гострою трамбівкою по всій площині опоки.

7. Заповнити опоку до верху наповнювальною сумішшю.

8. Ущільнити суміш гострою трамбівкою по всій площині опоки, особливо ретельно біля стінок і в кутах.

9. Додати в опоку наповнювальну суміш так, щоб утворився її надлишок від 40 мм до 50 мм над верхом опоки.

10. Ущільнити суміш плоскою трамбівкою по всій площині опоки. Після ущільнення рівень суміші має бути вище контрладу опоки.

11. Надлишок суміші зрізати лінійкою.

12. Виконати вентиляційні канали за допомогою голки з боку контрладу опоки, так щоб до моделі залишалась відстань від 2 см до 3 см.

13. Здійснити кантування (переворот) заформованої опоки разом з підмодельною плитою на 180°.

14. Зняти підмодельну плиту.

15. Заформовану опоку з моделлю встановити на підмодельну плиту.

16. Провести **операцію підрізування** формувальної суміші, яка заважає вилученню моделі художнього виробу з нижньої напівформи.

17. Посипати поверхню нижньої напівформи (лад) та модель розділовим покриттям.

18. Поверхню нижньої напівформи (лад) загладити гладилкою.

19. Встановити верхню опоку та моделі стояка, шлаковловлювача (за необхідністю) та випора.

20. Через сито просіяти на модель облицювальний шар суміші товщиною від 20 мм до 40 мм.

21. Повторити п.п. 7–12.

22. Вилучити модель стояка та випора з верхньої напівформи.

23. Виконати ливникову воронку за допомогою конічної металевої моделі ливникової воронки.

24. Провести центрування верхньої та нижньої напівформ за допомогою штирів.

25. Зняти верхню напівформу та здійснити її кантування.

26. Обережно розштовхати та вилучити модель виливка та модель шлаковловлювача.

27. У нижній напівформі за допомогою гладилки прорізати живильники та провести доопрацювання напівформ.

28. Транспортувати нижню та верхню напівформу на плац для заливання розплавом. Накрити нижню напівформу верхньою. Центрування напівформ здійснювати за допомогою штирів.

29. Навантажити складену форму для запобігання підняття верхньої напівформи після заливання.

30. Залити форму підготовленим рідким сплавом.

31. Витримати одержаний виливок у ливарній формі для охолодження його до кімнатної температури.

32. Вибити виливок з ливарної форми, очистити його від залишків формувальної суміші металевою щіткою.

33. За допомогою ножівки та терпуга відокремити виливок від ливникової системи та зачистити заливи у площині розніму форми.

4 Аналіз отриманих результатів та висновки

Візуально оцінити якість отриманого художнього виливку. В разі наявності дефектів вказати їх на ескізі виливка та зробити висновки щодо причин їхньої появи.

5 Оформлення звіту

- назва та мета роботи, теоретичні відомості (за бажанням);
- послідовність виконання роботи;
- ескіз отриманого виливка;
- аналіз отриманих результатів;
- висновки за результатами роботи.

6 Контрольні завдання та запитання для підготовки до роботи

1. Наведіть основні терміни та визначення.
2. Опишіть призначення інструменту, який використовували під час виготовлення ливарної форми.
3. Розкрийте особливості технологічного процесу виготовлення художнього виливка з підрізуванням.
4. Наведіть послідовність операцій під час формування з підрізуванням.
5. Охарактеризуйте основні дефекти, які утворюються на художніх виливках.

7 Список рекомендованої літератури

Література: [1], [4], [8], [9].

Лабораторна робота № 2
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ
ЛИВАРНИХ СТРИЖНІВ

Мета роботи – вивчити конструктивні елементи стрижнів та технологічний процес їх виготовлення, виготовити стрижні для ливарних форм.

1 Загальні відомості

Ливарним стрижнем називають елемент ливарної форми, призначений для утворення отвору, порожнини або іншого складного контуру у виливку. Стрижні також використовують для отримання елементів ливникової системи, як у разових піщаних формах, так і у металевих формах.

Частина стрижня, яка утворює отвір, порожнину або інший складний контур виливка називається **робочою**. Вона контактує з рідким металом, розміри та конфігурація її точно відповідають розмірам і конфігурації виливка.

Ливарні стрижні проставляють і закріплюють у формі за допомогою одного або декількох **стрижневих знаків** (знакові частини стрижнів). Для того, щоб стрижень зайняв чітке положення у формі і не повертався навколо своєї осі, на його знаках передбачають фіксатори, які називають замками. Замок представляє собою спеціальну виїмку або виступ на знаковій частині стрижня, зазвичай, прямокутної або трапецеподібної форми.

В ряді випадків стрижні в ливарній формі не можуть бути чітко зафіксовані лише за допомогою знакових частин з фіксаторами. Тоді додатково використовують спеціальні металеві підставки – **жеребейки**, їх проставляють в робочу порожнину ливарної форми між поверхнею форми та стрижнем. Висота жеребейки завжди дорівнює товщині стінки виливка в місці її встановлення. Після заливання ливарної форми жеребейка омивається розплавом та

залишається в тілі виливка, тому до її матеріалу та стану поверхні висувають жорсткі вимоги, недотримання яких призводить до утворення дефектів у виливку.

В процесі заливання розплаву у форму, а також під час твердіння і охолодження виливка ливарний стрижень піддається термічному та механічному впливу. При цьому особливо руйнівною є дія гідравлічного удару розплаву. Тому до разових ливарних стрижнів висувають підвищені вимоги: високі загальна та, особливо, поверхнева міцність; газопроникність; хімічна інертність; податливість в момент усадки виливка; вибиваємість; мінімальні обсипаємість та газотвірна здатність.

1.1 Забезпечення міцності та вентиляція стрижнів

Для надання стрижням міцності під час їхнього виготовлення та транспортування використовують різні за конструкцією сталеві та чавунні **каркаси**: дровові, зварні (зварюються із декількох сталевих дровів), литі (чавунні каркаси), комбіновані (поєднуються чавунні литі каркаси із сталевими дрововими) та спеціальні (у вигляді решіток, сіток, перфорованих труб).

Для забезпечення поверхневої міцності та зниження обсипаємості стрижні фарбують різними теплоізоляційними і протипригарними фарбами.

Високу газопроникність забезпечують використанням вентиляційної системи стрижня, за допомогою якої з нього видаляють повітря та гази, утворені під час заливання форми розплавом та охолодженні виливка. Використання вентиляційної системи забезпечує запобігання утворення дефектів газового характеру (пористості, раковини тощо). Вентиляцію стрижня можна організувати наступним чином:

- 1) виконанням вентиляційною голкою наколів у знакових частинах стрижня;

2) встановленням гумових джгутів у стрижневий ящик перед виготовленням з подальшим їх вилученням з готового стрижня;

3) встановленням воскових фітилів у стрижневий ящик перед виготовленням з подальшим їх витоплюванням під час сушіння стрижня;

4) вентиляцією через каркас – використання каркасу у вигляді перфорованої труби;

5) виконанням вентиляційного колодязя – відкритого заглиблення у вертикальному стрижні з боку верхньої знакової частини (для крупних стрижнів);

6) виконанням серцевини стрижня із шматків шлаку, гравію, уламків цегли тощо (для крупних стрижнів);

7) додаванням у стрижневу суміш добавок, які вигоряють під час сушіння або вже після заливання й утворюють пори (наприклад, деревні ошурки);

8) використанням порожнистих або оболонкових стрижнів.

Податливість стрижня підвищують за рахунок введення в стрижневу суміш спеціальних добавок (деревних ошурків, торфу).

Мінімізувати газотвірну здатність суміші можна зниженням вмісту матеріалів, які є джерелами газів та зменшенням вмісту вологи.

1.2 Технологічний процес виготовлення стрижнів ручним способом

Всі способи виготовлення поділяються на ручні і машинні. Для отримання стрижня використовують спеціальний елемент модельного оснащення, який називають **стрижневим ящиком**.

В залежності від серійності виробництва стрижневі ящики можуть бути: дерев'яними, пластмасовими та металевими. Стрижневі ящики можуть бути роз'ємними, нероз'ємними або витряхними. Можливе також отримання стрижня вручну без використання ящика (стрижні для унікальних, насамперед, художніх виливків; стрижні, виготовлені за шаблонами).

Для виготовлення стрижнів в основному застосовують наступні класи стрижневих сумішей:

- холоднотвердні суміші (ХТС);
- рідкорухомі самотвердні суміші (РСС);
- пластичні самотвердні суміші (ПСС).

Остаточну міцність стрижнів, в залежності від обраної стрижневої суміші, забезпечують наступними способами: зміцнення стрижня тепловим сушінням, зміцнення стрижнів із холоднотвердних сумішей безпосередньо в ящику, зміцнення стрижнів у гарячому оснащенні.

Основними технологічними операціями під час виготовлення стрижнів ручним способом є:

- підготовка стрижневого ящика;
- заповнення стрижневого ящика сумішшю та попереднє ущільнення (в залежності від конфігурації конкретного стрижня, його виготовляють суцільним або з декількох частин окремо);
- встановлення каркасу (за потреби);
- остаточне ущільнення та з'єднання окремо виготовлених частин стрижня (за потреби);
- організація вентиляційної системи стрижня;
- вилучення стрижня з ящика та його доопрацювання;
- фарбування та сушіння стрижня (за потреби).

2 Обладнання та матеріали

Стрижневі ящики, каркаси, гостра та плоска трамбівки, гладилка, лінійка, вентиляційна голка, молоток, сушильна плита, ганчір'я, стрижнева суміш, суміш гасу та графіту, глиняста суспензія.

3 Послідовність виконання роботи

Виготовлення **суцільного стрижня** у рознімному стрижневому ящику (рис. 2.1) здійснити за наступною послідовністю:

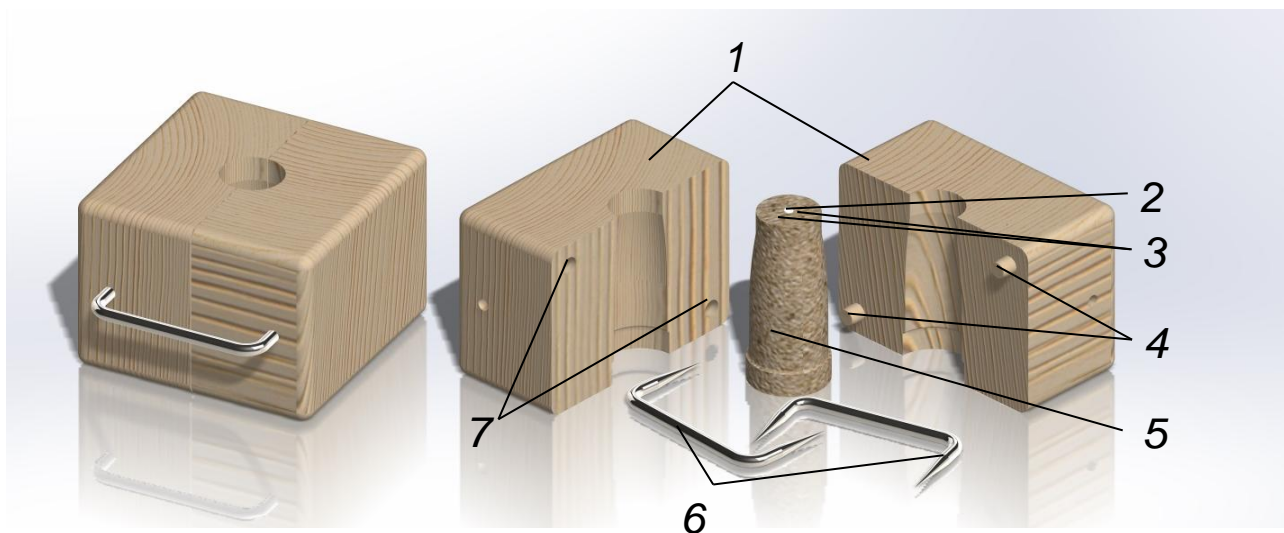
1. Здійснити візуальний огляд стрижневого ящика для встановлення наявності пошкоджень та залишків стрижневої суміші.

2. Робочу порожнину половинок ящика 1 очистити від стрижневої суміші, яка пристала, і протерти ганчіркою, змоченою в суміші гасу та кристалічного графіту.

3. За центрувальними штифтами 4 (в одній половині) і отворами 7 (в іншій половині) обидві частини ящика з'єднати і скріпити скобами 6 або струбциною.

4. Ящик встановити на рівну поверхню стола або плити і заповнити на 1/2 стрижневою сумішшю, ущільнюючи її трамбівкою.

5. Після ущільнення першого шару суміші встановити змащений зв'язувальним матеріалом каркас 2.



1 – стрижневий ящик; 2 – каркас; 3 – вентиляційні отвори; 4 – центрувальні штифти; 5 – стрижень; 6 – скоби; 7 – центрувальні отвори

Рисунок 2.1 – Стрижневий ящик із стрижнем

6. Заповнити ящик сумішшю і, після закінчення її ущільнення, надлишок вище за торці ящика зрізати лінійкою.

7. Виконати за допомогою голки вентиляційні отвори 3.

8. Скоби зняти, розійняти половинки стрижневого ящика після обстукування.

9. Вийняти стрижень з ящика, перевірити візуально його якість та виправити зовнішні дефекти (за необхідності).

10. Помістити стрижень на сушильну плиту.

Виготовити **стрижень з двох половин** у металевому рознімному стрижневому ящику за наступною послідовністю:

1. Здійснити візуальний огляд стрижневого ящика для встановлення наявності пошкоджень та залишків стрижневої суміші.

2. Половини стрижневого ящика очистити від стрижневої суміші і протерти ганчіркою, змоченою в суміші гасу та графіту (рис. 2.2, 1 та 2).

3. Заповнити половини ящика стрижневою сумішшю й ущільнити її. Надлишок суміші зрізати лінійкою. В одну із половин стрижня заглибити змащений глинястою суспензією сталевий дротовий каркас (рис. 2.2, 3). У другій половині стрижня прорізати вентиляційний канал (рис. 2.2, 4).

4. Площину розніму однієї з половин стрижня змастити зв'язувальним компонентом (глиняста суспензія, розчин декстрину, рідке скло тощо), потім половини ящика з'єднати до повного суміщення площини розніму (рис. 2.2, 5).

5. Доущільнити торці (знакові частини) стрижня і після обстукування ящика зняти верхню його половинку (рис. 2.2, 6).

6. Стрижень доопрацювати і встановити замість верхньої половинки ящика сушильну плиту (драйєр) (рис. 2.2, 7).

7. Кантувати половину ящика із встановленою сушильною плитою. Зняти другу половину ящика (рис. 2.2, 8).

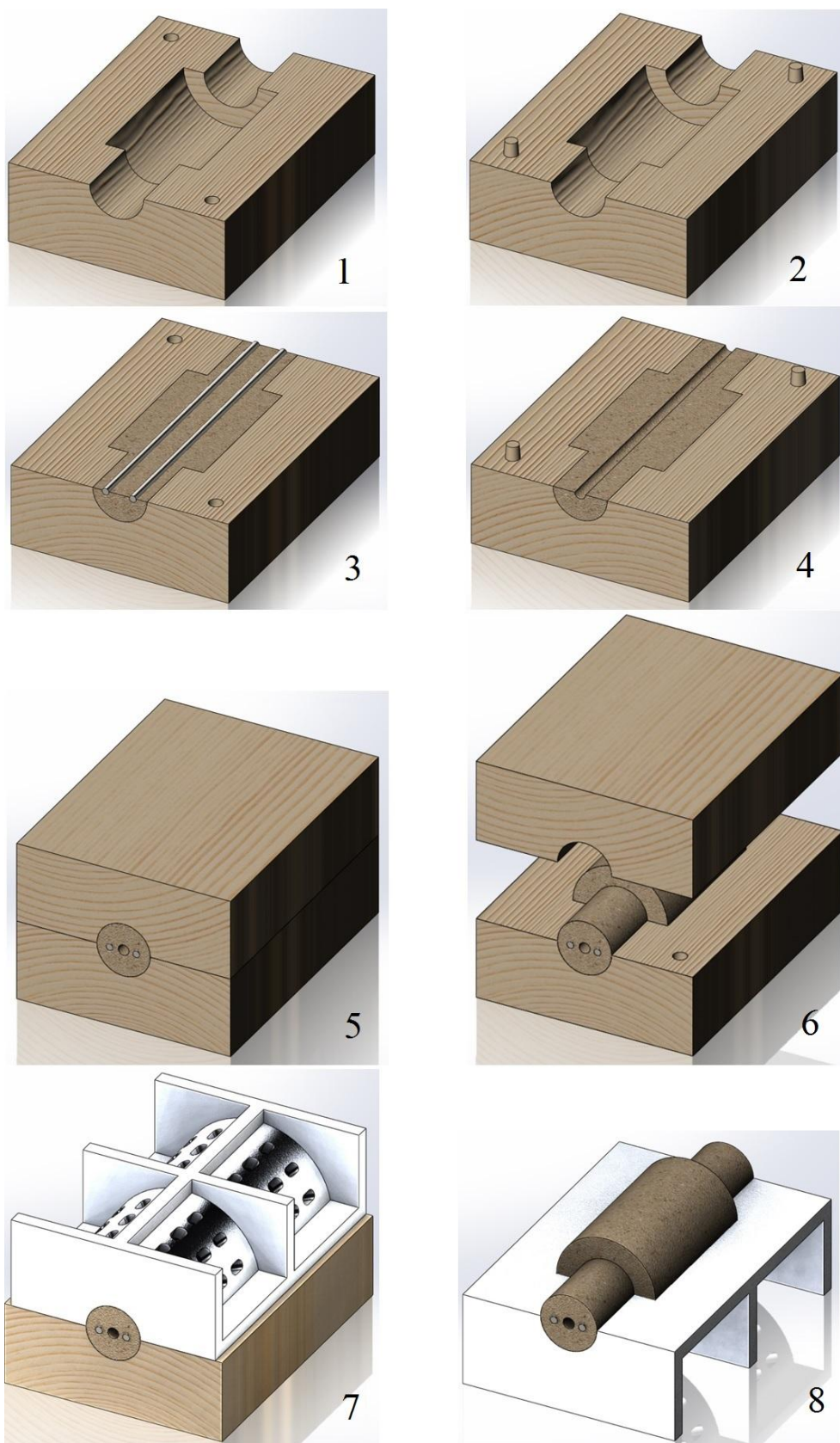


Рисунок 2.2 – Послідовність операцій під час виготовлення складного стрижня з двох половин

Примітка. Замість фігурної сушильної плити можна використовувати рамку, яку встановлюють на верхню половину ящика і заповнюють сухим піском. Потім на неї кладуть плоску сушильну плиту. Після повороту на 180° стрижень лежатиме на піщаній постілі.

4 Аналіз отриманих результатів та висновки

Виконати ескізи виготовлених стрижнів та вказати на них конструктивні елементи: робочу та знакові частини, каркаси, вентиляційні отвори. Проаналізувати відповідність вимогам, які висувають до стрижнів та зробити висновки щодо можливості їх використання у формі.

5 Оформлення звіту

- назва та мета роботи, теоретичні відомості (за бажанням);
- послідовність виконання роботи;
- ескізи стрижнів з вказаними конструктивними елементами;
- аналіз отриманих результатів;
- висновки за результатами роботи.

6 Контрольні завдання та запитання для підготовки до роботи

1. Наведіть визначення та класифікацію ливарних стрижнів.
2. Розкрийте особливості конструкції стрижнів.
3. Як забезпечують вентиляцію стрижнів?
4. Які способи зміцнення стрижнів використовують під час їх виготовлення?
5. Наведіть технологічний процес виготовлення суцільного стрижня та стрижня з двох половин.

7 Список рекомендованої літератури

Література: [3], [4], [7], [8].

Лабораторна робота № 3

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИВАРНОЇ ФОРМИ ЗА РОЗНІМНОЮ МОДЕЛЛЮ

Мета роботи – вивчити технологічний процес та виготовити ливарну форму за рознімною моделлю ручним формуванням, набути навичок виконання операцій формування та застосування інструментів і технологічного оснащення.

1 Загальні відомості

Близько 80% від загальної маси виливків виробляють методом лиття у разові піщані форми, які виготовляють з формувальної суміші, що складається з наповнювача (кварцовий пісок, інші вогнетривкі наповнювачі або регенерат), зв'язувального компонента (глина, синтетичні смоли, рідке скло та ін.) та спеціальних добавок. Після затвердіння сплаву форму руйнують й вилучають виливок, при цьому більша частина формувальної суміші залишається придатною для повторного використання. Даний метод лиття є універсальним та практично не має обмежень за конфігурацією і розмірами виливків. В той час як інші методи лиття застосовуються лише за певних конструктивно-технологічних особливостей конкретного виливка та економічній доцільності виробництва.

Формувальні суміші повинні забезпечувати достатню вогнетривкість та хімічну інертність до матеріалу виливка та комплекс технологічних властивостей: текучість, здатність до формування та ущільнення, здатність не прилипати до технологічного оснащення. А найголовніше – забезпечити високу міцність форми під час її транспортування та заливання, та її зниження після охолодження виливка для легкого вибивання його з форми.

Оскільки метал взаємодіє безпосередньо з поверхнею форми, найбільша міцність її має бути на поверхні, щоб не допустити дефектів (піщаних раковин, неметалевих вкраплень) у виливках. Поверхневу міцність оцінюють непрямыми методами: за обсіпаємістю ущільненої формувальної суміші у відсотках та за твердістю ущільненої формувальної суміші в умовних одиницях. Після ущільнення форми її твердість зазвичай знаходиться в діапазоні від 50 до 80 одиниць за показами кулькового твердоміра.

Для виготовлення разових піщаних форм перш за все необхідно мати: технологічне оснащення, формувальну та стрижневу суміш, спеціальний інструмент (додаток А).

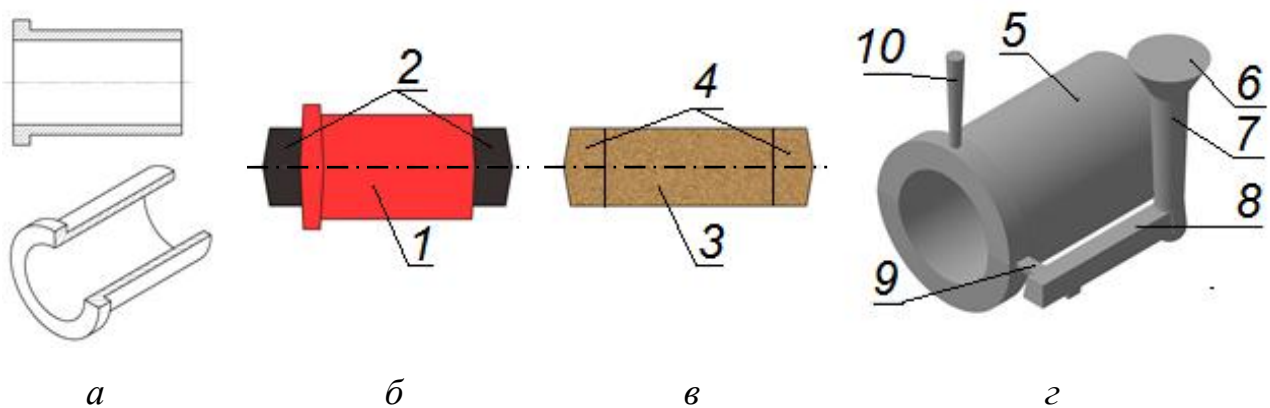
1.1 Технологічне оснащення для виготовлення разових піщаних форм

До складу технологічного оснащення відносяться опоки, моделі виливків, модельні плити, підмодельні плити (щитки), моделі елементів ливникової системи, шаблони, стрижневі ящики. Розроблення та виготовлення оснащення здійснюють під конкретну деталь (рис. 3.1, а) окремо на основі технічного завдання від замовника (кресленика деталі/виливка).

Для утворення у ливарній формі відбитка (робочої порожнини), який відповідає розмірам та конфігурації вилівка використовують модель (рис. 3.1, б), розміри якої дещо більші (на величину усадки сплаву) за розміри вилівка. Також у моделі наявні частини, які формують порожнини для стрижневих знаків, в котрих закріплюють стрижень (рис. 3.1, в). Модель вилівка може бути нерознімною, рознімною та з відокремлюваними частинами.

Для підведення металу з ковша у робочу порожнину ливарної форми, забезпечення живлення вилівка розплавом та видалення повітря використовують ливникову систему, яка може бути з верхнім, боковим або нижнім підведенням розплаву. До її елементів належить ливникова чаша або

ливникова воронка, стояк, шлаковловлювач, живильник, надлив, випор (рис. 3.1, г). Ливникову систему у формі отримують за допомогою моделей її елементів, розміри яких розраховують для кожного виливка окремо в залежності від його маси, розмірів, конфігурації, положення у формі, типу сплаву тощо.



а – ескіз деталі; *б* – модель виливка; *в* – стрижень; *г* – виливок з ливниковою системою

1 – частина моделі, яка відтворює форму виливка; *2* – частини моделі, за допомогою яких формують порожнину для знакових частин стрижня;
3 – робоча частина; *4* – знакові частини; *5* – виливок; *6* – ливникова воронка;
7 – стояк; *8* – шлаковловлювач; *9* – живильник; *10* – випор

Рисунок 3.1 – Ескіз деталі, модель, стрижень та виливок з ливниковою системою

Переважну більшість моделей виливків та моделей елементів ливникової системи виготовляють з деревини, пластмаси або металу.

Від точності та якості виготовлення форми залежить якість і точність отриманих виливків, а також механічні властивості деталей або заготовок. Тому до ливарної форми пред'являють наступні вимоги:

- забезпечення необхідної конфігурації і точності геометричних розмірів виливка;

- забезпечення заданої структури металу та механічних властивостей виливка;
- недопущення у виливку зовнішніх і внутрішніх дефектів;
- легке руйнування форми після остаточного охолодження виливка.

1.2 Технологічний процес виготовлення ливарної форми за рознімною моделлю ручним формуванням

Технологічний процес виготовлення разової ливарної форми називають формуванням. Це трудомісткий і відповідальний етап усього технологічного циклу виготовлення виливків.

В залежності від розмірів, маси і товщини стінки виливка, а також типу ливарного сплаву його заливають у сирі, сухі або підсушені форми. У сирих формах виготовляють дрібні та середні виливки. В інших випадках напівформи висушують на всю глибину (сухі) або на глибину від 20 мм до 30 мм від поверхні (підсушені).

Не залежно від складу формувальної суміші та способу заливання застосовують наступні способи формування: за моделлю, за шаблоном та в стрижнях. Формування з використанням моделей найчастіше здійснюють в опоках (двох, трьох і більше), значно рідше – в ґрунті.

Формування за моделлю в залежності від конфігурації виливка може бути: за нерознімною моделлю, за рознімною моделлю, за моделлю з від'ємними частинами, з підрізуванням, з «фальшивою опокою», з перекидним болваном.

Під час застосування способу формування за рознімною моделлю модель має площину рознімання та складається щонайменше з двох частин, центрування яких проводять за допомогою штифтів та отворів у верхній та нижній частині моделі відповідно.

Формування включає в себе такі операції:

- встановлення моделі вилівка та моделей елементів ливникової системи;
- ущільнення суміші;
- забезпечення вентиляції форми;
- вилучення з форми моделей;
- доопрацювання форми (ремонт, фарбування, сушіння);
- встановлення стрижнів (за наявності) та складання форми під заливання.

2 Обладнання та матеріали

Рознімна модель вилівка, пара опок, модельна плита, моделі елементів ливникової системи (ливникової воронки, стояка, шлаковловлювача, випора), центрувальні штирі, лопата, гостра та плоска трамбівки, гладилка, ланцет, лінійка, вентиляційна голка, молоток, нарізний підйом, стрижні, заливальний ківш, кліщі, формувальна суміш, сріблястий графіт, алюмінієвий розплав.

3 Послідовність виконання роботи

Провести лабораторну роботу у наступній послідовності:

1. Отримати від викладача або учбового майстра рознімну модель вилівка.
2. На підмодельну плиту покласти нижню половинку моделі (без центрувальних штифтів), встановити нижню опоку вушками донизу.
3. Посипати модель розділовим покриттям (сріблястий графіт) (рис. 3.2, 1).

4. Через сито просіяти на модель облицювальний шар суміші товщиною від 20 мм до 40 мм, який повинен покрити підмодельну плиту та модель (рис. 3.2, 2).
5. Заповнити опоку до половини наповнювальною сумішшю.
6. Ущільнити суміш навколо моделі гострою трамбівкою, для того, щоб зафіксувати її положення на модельній плиті та запобігти зміщенню під час подальшого трамбування суміші та ущільнити суміш гострою трамбівкою по всій площині опоки.
7. Заповнити опоку до верху наповнювальною сумішшю.
8. Ущільнити суміш гострою трамбівкою по всій площині опоки, особливо ретельно біля стінок і в кутах.
9. Додати в опоку наповнювальну суміш так, щоб утворився її надлишок від 40 мм до 50 мм над верхом опоки (рис. 3.2, 3).
10. Ущільнити суміш плоскою трамбівкою по всій площині опоки. Після ущільнення рівень суміші має бути вище контрладу опоки.
11. Надлишок суміші зрізати лінійкою (рис. 3.2, 4).
12. Виконати вентиляційні канали за допомогою голки з боку контрладу опоки, так щоб до моделі залишалась відстань від 2 см до 3 см (рис. 3.2, 5).
13. Здійснити кантування (переворот) заформованої опоки разом з модельною плитою на 180° .
14. Зняти підмодельну плиту.
15. Заформовану опоку з моделлю встановити на підмодельну плиту.
16. Встановити верхню половинку моделі на нижню половинку (при цьому моделі центруються штифтами).
17. Посипати поверхню нижньої напівформи (лад) та модель розділовим покриттям (рис. 3.2, 6).
18. Поверхню нижньої напівформи (лад) загладити гладилкою.
19. Встановити верхню опоку та моделі елементів ливникової системи.

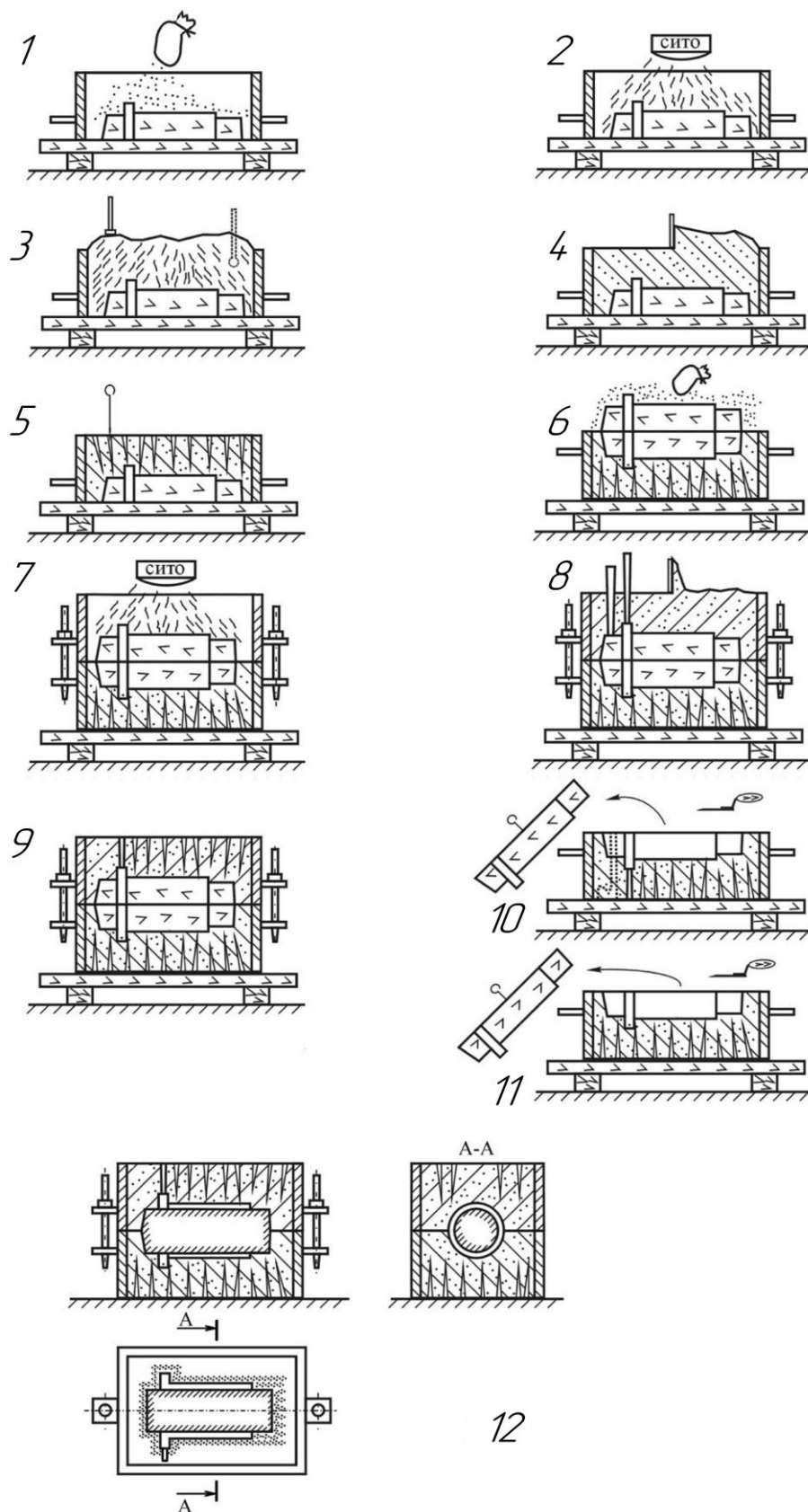


Рисунок 3.2 – Послідовність операцій під час виготовлення форми за
рознімною моделлю

20. Через сито просіяти на модель облицювальний шар суміші товщиною від 20 мм до 40 мм (рис. 3.2, 7).
21. Повторити п.п. 7–12 (рис. 3.2, 8).
22. Надлишок суміші зрізати лінійкою (рис. 3.2, 8).
23. За допомогою гладилки вирізати ливникову чашу.
24. Вилучити моделі стояка та випора (рис. 3.2, 9).
25. Провести центрування верхньої та нижньої напівформ за допомогою штирів.
26. Зняти верхню напівформу та здійснити її кантування.
27. Обережно розштовхати та вилучити модель виливка та модель шлаковловлювача.
28. У нижній напівформі за допомогою гладилки прорізати живильники та провести доопрацювання напівформ (рис. 3.2, 10, 11).
29. Транспортувати нижню та верхню напівформу на плац для заливання розплавом.
30. Визначити поверхневу твердість верхньої і нижньої напівформ по площині розніму в 5 точках за допомогою кулькового твердоміру та занести результати до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювання твердості

Напівформа	Твердість, од.					Середня твердість, од.
	1	2	3	4	5	
Нижня						
Верхня						

31. Встановити в знакові частини нижньої напівформи попередньо виготовлений стрижень.
32. Накрити нижню напівформу верхньою. Центрування напівформ здійснюють за допомогою штирів.

33. Навантажити складену форму для запобігання підняття верхньої напівформи після заливання. Форма у складеному вигляді зображена на рис. 3.2, 12.

34. Залити форму попередньо підготовленим рідким сплавом.

35. Витримати одержаний виліток у ливарній формі для його охолодження.

36. Вибити виліток з ливарної форми, очистити його від залишків формувальної суміші металевою щіткою.

4 Аналіз отриманих результатів та висновки

Виконати ескіз готової ливарної форми, на якому обов'язково вказати порожнину ливарної форми, стрижень та його знакові частини, усі елементи ливникової системи (ливникова чаша, стояк, шлаковловлювач, живильники, випор), конструктивні елементи опок (вушка, ручки, центрувальні штирі). За отриманими значеннями твердості визначити середні арифметичні значення для верхньої та нижньої напівформ, проаналізувати отриманий результат з точки зору можливості використання виготовленої форми на практиці та зробити відповідні висновки.

5 Оформлення звіту

- назва та мета роботи, теоретичні відомості (за бажанням);
- послідовність виконання роботи;
- ескіз ливарної форми в складеному вигляді з вказаними конструктивними елементами;
- аналіз отриманих результатів;
- висновки за результатами роботи.

6 Контрольні завдання та запитання для підготовки до роботи

1. Перерахуйте способи формування разових ливарних форм.
2. Охарактеризуйте особливості виготовлення ливарної форми за рознімною моделлю.
3. Що використовують як розділове покриття в процесі виготовлення ливарної форми?
4. Наведіть склад модельно-опочного комплекту, який використовували під час виконання лабораторної роботи.
5. Наведіть послідовність технологічного процесу під час виготовлення ливарної форми за рознімною моделлю.

7 Список рекомендованої літератури

Література: [2], [4], [7], [8].

Лабораторна робота № 4
ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛЕННЯ СТУПЕНЮ УЩІЛЬНЕННЯ
ФОРМУВАЛЬНОЇ СУМІШІ ЗА ВИСОТОЮ ОПОКИ ПРИ
МАШИННОМУ ФОРМУВАННІ

Мета роботи – дослідити розподілення ступеню ущільнення за висотою опоки в процесі виготовленні форм струшуванням та струшуванням з допресовуванням.

1 Загальні відомості

Основну масу ливарних форм та стрижнів отримують застосовуючи машинне формування, яке дозволяє механізувати як основні так і допоміжні операції їхнього виготовлення, а саме: ущільнення суміші, видалення моделі, організація ливникової системи, кантування напівформ і т. д.

Механізоване ущільнення формувальної або стрижневої суміші машинним формуванням переважно забезпечують застосуванням:

- пресування;
- струшування;
- струшування з допресовуванням;
- вібрації;
- вібропресування;
- піскометного способу;
- піскодувного та піскострільного способів.

Правильний вибір основних технологічних параметрів формувальних машин дозволяє виготовляти форми, які забезпечують високу якість виливків за мінімальної кількості браку. Важливу роль при цьому відіграє забезпечення оптимального ступеню ущільнення формувальної суміші в процесі виготовлення ливарної форми або стрижня, який для піщано-глинястих

сумішей знаходиться на рівні від $1,65 \text{ г/см}^3$ до $1,75 \text{ г/см}^3$. На практиці ступінь ущільнення суміші визначають опосередковано через вимірювання поверхневої твердості форми, оскільки залежність між ними пропорційна.

1.1 Сутність процесу струшування

Метод струшування широко застосовується в серійному та масовому виробництві виливків для ущільнення суміші в опоках. В процесі струшування стіл машини із опокою піднімається на висоту (в різних конструкціях машин орієнтовно від 40 мм до 120 мм), після чого падає вниз. При цьому суміш ущільнюється за рахунок сил інерції: верхні шари суміші падають на нижні й ущільнюють їх. Чим більша висота опоки, тим більша маса суміші в ній, і тим краще ущільнюється суміш біля моделі. Під час струшування втрати роботи ущільнення на сили тертя мінімальні, оскільки кожна частинка суміші знаходиться в динамічному русі. Тому струшування застосовують для високих (від 200 мм) опок і великих за висотою моделей. Біля стінок будь-яких моделей досягається високий ступінь ущільнення.

Недоліком способу струшування є відсутність ущільнення верхнього шару суміші. Цей шар створює динамічний тиск на нижні, ущільнюючи їх, але сам залишається в розпушеному стані, тому що на нього нічого зверху не діє. Для доущільнення верхніх шарів суміші в опоці під час струшування застосовують три способи: ручне трамбування (для великих форм або в дрібносерійному чи індивідуальному виробництві), накладання додаткового вантажу (чавунної плити) на суміш, машинне допресовування. Як правило, усі струшувальні машини обладнані механізмом пресування.

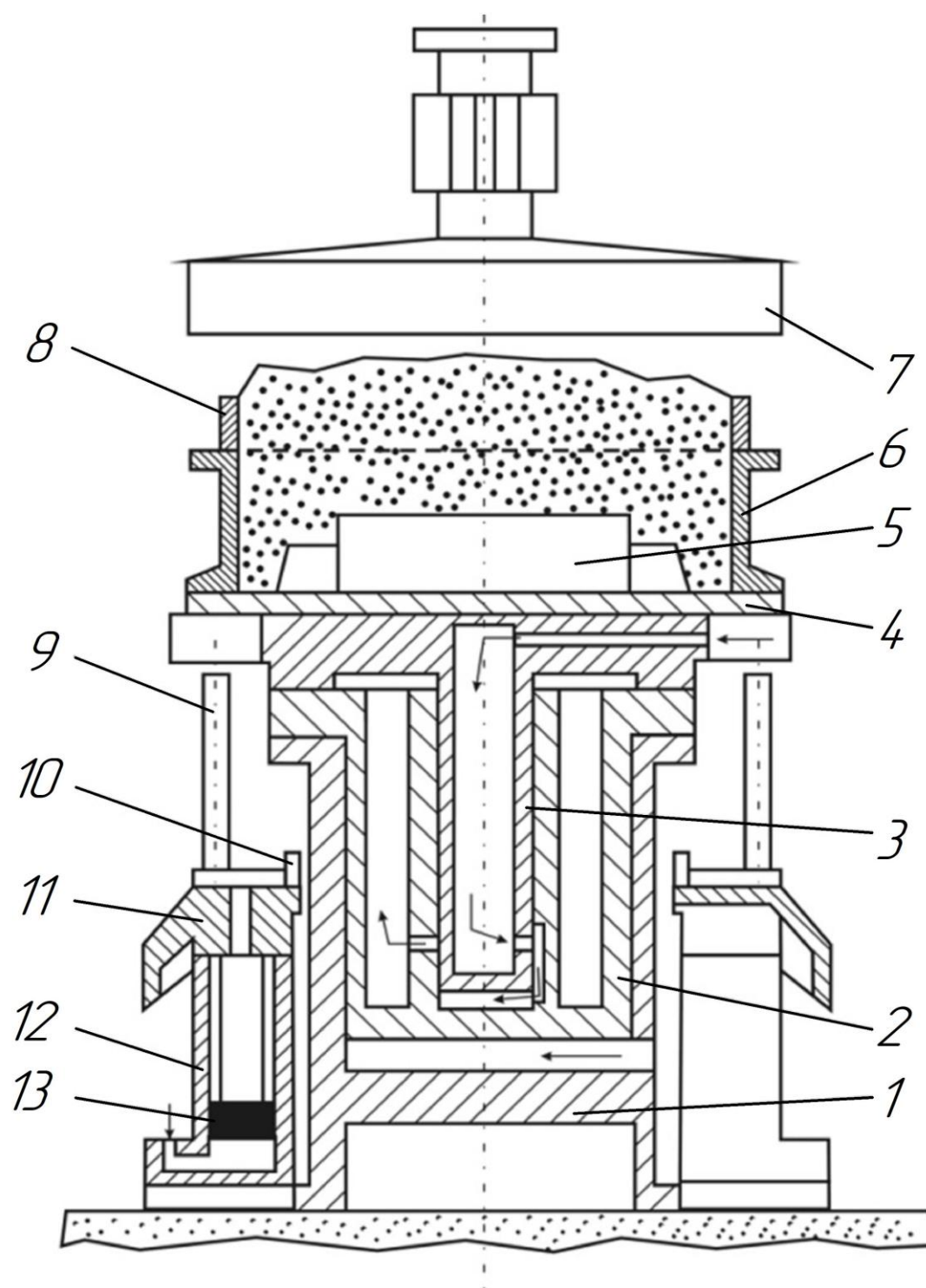
1.2 Процес виготовлення форми та робота струшувальної формувальної машини з механізмом допресовування

Під час виготовлення напівформ на столі машини, відлитому разом із струшувальним поршнем 3 (рис. 4.1), закріплюють модельну плиту 4 з моделлю 5. Для попередження прилипання суміші на модель наносять розділове покриття. Після чого на модельну плиту встановлюють опоку 6 та наповнювальну рамку 8 для отримання надлишку суміші. Опoku разом з наповнювальною рамкою заповнюють формувальною сумішшю.

Під час вмикання струшувального механізму стиснене повітря подається під струшувальний поршень і підіймає його разом із столом і модельно-опочним оснащенням вгору. Після підйому поршня на висоту від 35 мм до 40 мм відбувається відсічка стисненого повітря (перекриття впускного отвору). В процесі подальшого руху поршня вгору за інерцією він своїм тілом відкриває вихлопний отвір і відбувається вихлоп стисненого повітря, а стіл падає й ударяється об фланець торця пресового поршня 2.

Для ущільнення верхніх шарів суміші встановлюють пресову колодку (на схемі не показана), траверсу 7 встановлюють в робоче положення (над опокою), і стиснене повітря подається в пресовий циліндр 1 під пресовий поршень 2. В процесі руху пресового поршня вгору проводиться допресовування верхніх шарів суміші.

Для витягування моделі мастило з бачка 13 витискається і подається в циліндри 12 підйому штифтів 9, які з'єднані поперечиною 11. Під час піднімання штифтів з поперечиною вгору до контакту упору 10 з фланцем пресового циліндра проводиться знімання готової напівформи. Для цього в кутах модельної плити наявні чотири отвори, а в кутах опоки – спеціальні виступи, в які впираються штифти. При цьому працюють вібратори, які розштовхують моделі (на схемі не показані).



1 – пресовий циліндр; 2 – пресовий поршень; 3 – струшувальний поршень;
 4 – модельна плита; 5 – модель; 6 – опока; 7 – траверса; 8 – наповнювальна
 рамка; 9 – штифт; 10 – упор; 11 – поперечина; 12 – циліндр; 13 – бачок з
 мастилом

Рисунок 4.1 – Схема струшувальної формувальної машини з механізмом
 допресовування

2 Обладнання та матеріали

Струшувальна формувальна машина, лабораторна опока, наповнювальна рамка, пресова колодка, кульковий твердомір, молоток, формувальна суміш.

3 Послідовність виконання роботи

Дослідження залежності поверхневої твердості від числа ударів струшування провести у наступній послідовності:

1. На стіл машини встановити круглу лабораторну опоку діаметром 270 мм і висотою 200 мм, що має в бічній стінці отвір шириною 100 мм і заввишки 160 мм, який закривається дверцятами.
2. Заповнити опоку сумішшю.
3. Увімкнути струшувальний механізм і провести 5 ударів.
4. Провести вимірювання твердості суміші зі сторони ладу опоки кульковим твердоміром. Результати занести до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Залежність поверхневої твердості від числа ударів струшування

Номер виміру	Число ударів					
	5	10	15	20	30	40
	твердість, од.					
1						
2						
3						
Середнє арифметичне						

5. Повернути опоку на місце, увімкнути струшувальний механізм і провести ще 5 ударів.

6. Повторити вимірювання твердості. Результати занести до таблиці 4.1.

7. Довести число ударів до 15, 20, 30 і 40 і повторити вимірювання твердості. Результати занести до таблиці 4.1.

Дослідження розподілення поверхневої твердості суміші за висотою опоки під час струшування провести у наступній послідовності:

1. На стіл машини встановити круглу лабораторну опоку діаметром 270 мм і висотою 200 мм, що має в бічній стінці отвір шириною 100 мм і заввишки 160 мм, який закривається дверцятами.

2. Заповнити опоку сумішшю.

3. Увімкнути струшувальний механізм і провести від 15 ударів до 20 ударів.

4. За допомогою кулькового твердоміра провести вимірювання твердості ущільненої суміші на різній висоті від ладу опоки. Результати занести до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Розподілення поверхневої твердості за висотою опоки під час струшування

Номер виміру	Висота від ладу опоки, мм						
	0	40	60	80	100	120	верх
	твердість, од.						
1							
2							
3							
Середнє арифметичне							

Дослідження розподілення поверхневої твердості суміші за висотою опоки під час струшування з допресовуванням провести у наступній послідовності:

1. На стіл машини встановити круглу лабораторну опоку діаметром 270 мм і висотою 200 мм, що має в бічній стінці отвір шириною 100 мм і заввишки 160 мм, який закривається дверцятами.
2. Заповнити опоку сумішшю.
3. Увімкнути струшувальний механізм і провести від 15 ударів до 20 ударів.
4. Встановити на опоку наповнювальну рамку і заповнити її сумішшю.
5. Встановити пресову колодку.
6. Увімкнути механізм допресовування.
7. За допомогою кулькового твердоміра провести вимірювання твердості ущільненої суміші на різній висоті від ладу опоки. Результати занести до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Розподілення поверхневої твердості за висотою опоки під час струшування з допресовуванням

Номер виміру	Висота від ладу опоки, мм						
	0	40	60	80	100	120	верх
	твердість, од.						
1							
2							
3							
Середнє арифметичне							

4 Аналіз отриманих результатів та висновки

Визначити середнє арифметичне значення твердості суміші для кожного дослідження. Побудувати графічні залежності:

- поверхневої твердості суміші від числа ударів струшування (дані з таблиці 4.1);
- розподілення поверхневої твердості суміші за висотою опоки під час струшування (дані з таблиці 4.2);
- розподілення поверхневої твердості суміші за висотою опоки під час струшування з допресовуванням (дані з таблиці 4.3).

Проаналізувати отримані графічні залежності та зробити висновок щодо оптимальних режимів струшування.

5 Оформлення звіту

- назва та мета роботи, теоретичні відомості (за бажанням);
- послідовність виконання роботи;
- графічні залежності: ступеню ущільнення суміші (вісь ординат) від числа ударів струшування (вісь абсцис); розподілу ступеню ущільнення суміші (вісь абсцис) за висотою опоки (вісь ординат) під час струшування; розподілу ступеню ущільнення суміші (вісь абсцис) за висотою опоки (вісь ординат) під час струшування з допресовуванням;
- аналіз отриманих результатів;
- висновки за результатами роботи.

6 Контрольні завдання та запитання для підготовки до роботи

1. Опишіть сутність процесу струшування. Наведіть його переваги та недоліки.
2. Опишіть роботу струшувального механізму формувальної машини.
3. Як відбувається розподіл ступеню ущільнення за висотою опоки під час струшування з допресовуванням?
4. Яке призначення наповнювальної рамки?
5. Охарактеризуйте особливості модельного комплекту для машинного формування.

7 Список рекомендованої літератури

Література: [4], [5], [8].

Лабораторна робота № 5

ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ НА СТИСК. ВПЛИВ СТУПЕНЮ УЩІЛЬНЕННЯ НА МІЦНІСТЬ СУМІШЕЙ

Мета роботи – дослідити залежність міцності формувальних сумішей від ступеню ущільнення.

1 Загальні відомості

Формувальними матеріалами називають природні та штучні (синтетичні) матеріали, які застосовують для приготування формувальних та стрижневих сумішей. Від якості формувальних матеріалів; дотримання технології приготування сумішей та технології виготовлення форм і стрижнів залежить якість майбутніх виливків.

Для отримання якісних виливків також необхідно враховувати умови взаємодії форми з розплавом в процесі її заливання, тверднення та охолодження виливка, нехтування якими призводить до утворення в них різних дефектів: піщаних та газових раковин, засмічення, пригару та ін. Для запобігання утворенню дефектів у виливках формувальні та стрижневі суміші повинні володіти комплексом властивостей.

1.1 Властивості формувальних матеріалів. Міцність у сирому стані

Основні властивості сумішей: міцність, газопроникність, вогнетривкість, пластичність, текучість, ущільнюваність, формувальність, обсипаємість, гігроскопічність, податливість, вибиваємість, вологість та ін. Крім цього формувальні матеріали повинні бути недефіцитними, нетоксичними та недорогими.

Оскільки вимоги до формувальних сумішей для різноманітних умов виробництва виливків різні, то їхні властивості, за якими оцінюють можливість використання сумішей, визначаються у стандартних умовах.

Міцність сумішей оцінюють граничною величиною навантаження, досягнення якої призводить до руйнування ущільненого зразка суміші. Вона характеризує здатність суміші зберігати задану конфігурацію порожнини ливарної форми під час виготовлення, транспортування та заливання.

Розрізняють міцність сумішей у сирому, зміцненому (після теплового сушіння або хімічного тверднення), нагрітому (після заливання) і прожареному (для стрижнів) станах. Міцність суміші у сирому стані можна визначати на стиск, рідше на зріз, розтягування та згин, вона залежить, головним чином, від вмісту глини, а також від величини вологості.

Міцність формувальних або стрижневих сумішей визначають в тих умовах, в яких працюватиме форма. Наприклад, для сирих форм визначають лише міцність ущільненої суміші у сирому стані. Для стрижнів, які зміцнюються в гарячому оснащенні – після теплового зміцнення.

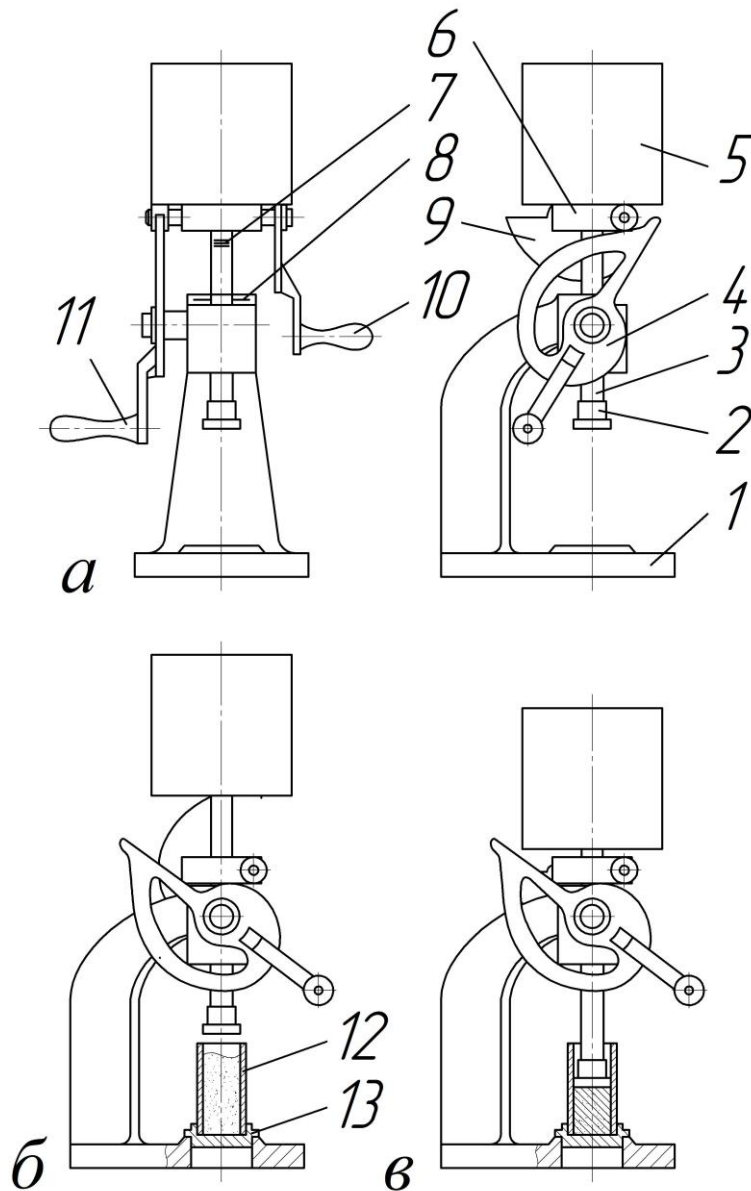
На міцність формувальних та стрижневих сумішей впливають такі групи факторів:

- 1) характеристики наповнювача – вміст глинястої складової, розмір та форма зерен тощо;
- 2) характеристики зв'язувального компонента – поверхневий натяг, когезійна міцність тощо;
- 3) умови приготування – тривалість перемішування температура зміцнення тощо.

1.2 Визначення міцності формувальної суміші у сирому стані

Міцність сумішей на стиск визначають на зразках діаметром і висотою 50 мм, які виготовляють шляхом ущільнення суміші за допомогою трьох ударів

лабораторного копра (рис. 5.1) в стандартній гільзі з внутрішнім діаметром 50 мм і висотою 120 мм. Для сирих піщано-глинястих сумішей міцність на стиск знаходиться в діапазоні від 30 кПа до 210 кПа.



а – вихідне положення; *б* – установлення гільзи із сумішшю; *в* – ущільнення зразка

1 – станина; *2* – бойок; *3* – шток; *4* – кулачок підйому штока; *5* – вантаж;

6 – сухар; *7, 8* – риски; *9* – кулачок підйому вантажу; *10, 11* – рукоятки;

12 – гільза; *13* – чашка;

Рисунок 5.1 – Схема виготовлення циліндричного зразка на лабораторному копрі

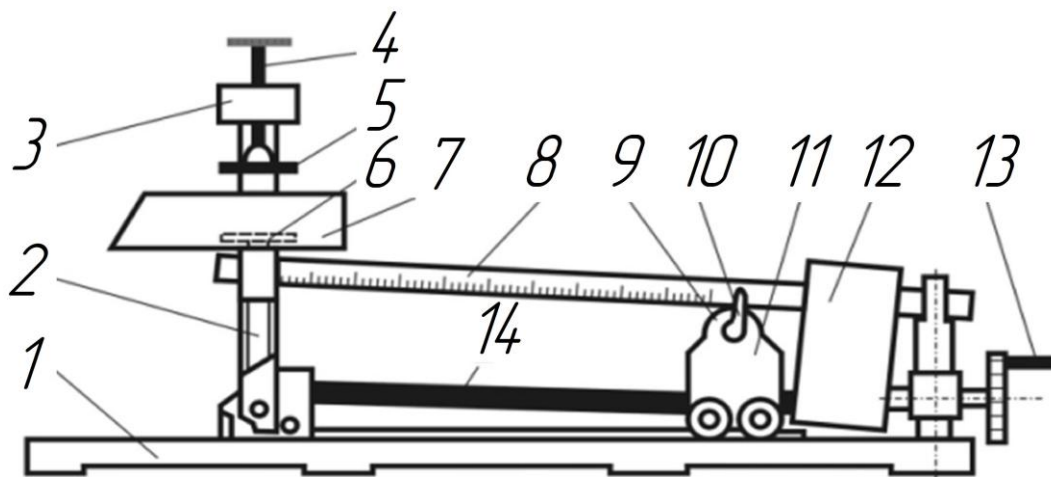
Лабораторний копер складається з: станини 1, штока 3, підйомного кулачка 4, вантажу 5 масою $6,35 \text{ кг} \pm 0,015 \text{ кг}$, кулачка 9 підйому вантажу для удару, бойка 2, рукояток 10, 11 та сухаря 6. Висота підйому вантажу – 50 мм.

В процесі обертання рукоятки 10 вантаж 5 піднімається на висоту 50 мм і скидається на сухар 6, який, будучи жорстко сполученим із штоком 3, передає удари на суміш.

Після ущільнення висота зразка повинна дорівнювати 50 мм з допустимим відхиленням $\pm 0,8 \text{ мм}$. Для контролю цих розмірів на штоку 3 нанесені три риси 7, які після ущільнення зразка повинні співпадати з рисою 8 на верхньому вертикальному приливі станини. Висоті зразка в 50,0 мм відповідає середня риска на штоку.

Якщо риска на станині після ущільнення вийшла за межі крайніх рисок штока, зразок повинен бути забракований і видалений з гільзи як непридатний для випробування.

Для визначення міцності сирих зразків на стиск застосовують прилад, схема якого зображена на рис. 5.2.



1 – станина; 2 – тяга; 3 – траверса; 4 – гвинт; 5 – опора; 6 – підставка; 7 – лоток;
8 – важіль; 9 – ролик; 10 – покажчик; 11 – каретка; 12 – вантаж;
13 – рукоятка; 14 – ходовий гвинт;

Рисунок 5.2 – Схема приладу для визначення міцності формувальної суміші на стиск

На станині 1 в двох підшипниках закріплений ходовий гвинт 14. В процесі обертання рукоятки 13 ходовий гвинт 14 переміщує каретку 11 із закріпленим на ній покажчиком 10.

На верхній ролик 9 каретки 11 спирається градуйований важіль 8, на одному кінці якого розміщений вантаж 12. Протилежний кінець важеля 8 шарнірно пов'язаний з вертикальною тягою 2, на верхньому кінці якої закріплений лоток 7 з горизонтальною підставкою 6.

На підставку 6 встановлюється досліджуваний зразок, який своєю верхньою площиною упирається у верхню опору 5, пов'язану з гвинтом 4 шаровою п'ятою. Гвинт 4 проходить через напрямівну гайку траверси 3.

Межі вимірювання міцності – від $0,05 \text{ кгс/см}^2$ до $1,25 \text{ кгс/см}^2$ (від 4,9 кПа до 124,5 кПа).

2 Обладнання та матеріали

Лабораторний копер, прилад для визначення міцності формувальної суміші на стиск, гільза, чашка, виштовхувач, лопатка, формувальна суміш.

3 Послідовність виконання роботи

Зразок виготовити у наступній послідовності:

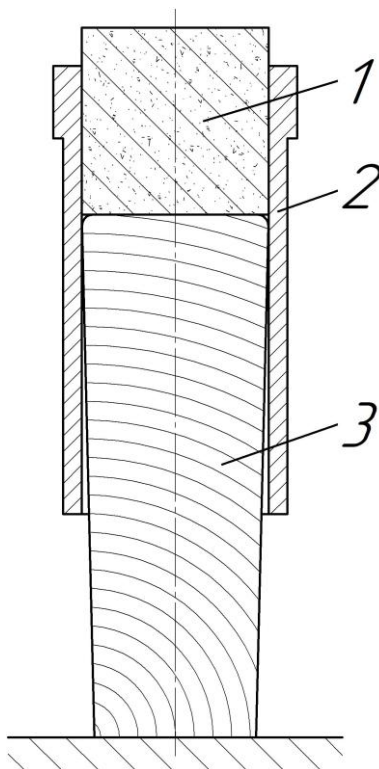
1. У гільзу 12, встановлену в чашку 13, насипати приблизно від 160 г до 180 г формувальної суміші, не допускаючи попереднього ущільнення.

2. За допомогою підйомного кулачка 4 (рукоятка 11) підняти вгору вантаж 5 разом із штоком 3 (рис. 5.1, а).

3. Вставити чашку 13 з гільзою 12 і насипаною в неї формувальною сумішшю в станину 1 копра.

4. Рукояткою 11 повільно (без удару) опустити бойок 2 штока 3 до зіткнення з сумішшю в гільзі (рис. 5.1, б).

5. Обертанням рукоятки 10 кулачка 9 провести ущільнення зразка (рис. 5.1, в) трьома ударами бойка копра.



1 – зразок; 2 – гільза; 3 – виштовхувач

Рисунок 5.3 – Схема видалення зразка із гільзи

6. Після ущільнення та перевірки збігу рисок бойок вийняти з гільзи обертанням кулачка 4 за рукоятку 11. Гільзу 12 з чашкою 13 зняти зі станини копра, після чого гільзу звільнити від чашки 13.

7. Зразок видалити з гільзи за допомогою виштовхувача 3 (рис. 5.3). Для цього виштовхувач ставиться вертикально, на нього надягають гільзу 2, із якої плавним рухом видаляють зразок 1.

Примітка. Не можна робити удари вантажем, якщо під бойком не встановлена гільза із сумішшю. Такі неробочі удари можуть призвести до виходу копра з ладу.

Дослідження міцності на стиск у сирому стані провести у наступній послідовності:

1. З формувальної суміші виготовити по три циліндричні зразки, ущільнені одним, трьома (стандартне ущільнення), шістьма і дев'ятьма ударами копра.

2. Встановити показчик 10 каретки 11 на відмітку „0” шкали важеля 8. При цьому важіль повинен бути в положенні рівноваги, чого досягають переміщенням вантажу 12.

3. Поставити дослідний зразок на нижню підставку 6 лотка 7, щоб осьова лінія зразка співпадала з центром підставки.

4. Гвинтом 4 притиснути впритул, але без зайвого натиску, верхню опору приладу 5 до зразка.

5. Рівномірним обертанням рукоятки 13 пересувати каретку у напрямку до зразка. У момент руйнування зразка обертання рукоятки відразу припинити.

6. Записати положення показчика 10 (табл. 5.1) каретки 11, в момент руйнування зразка. Показ зафіксувати на важелі 8 зліва від показчика і записати з точністю до $0,01 \text{ кгс/см}^2$ ($0,98 \text{ кПа}$). За наявності значних коливань міцності рівноущільнених зразків випробування провести на двох додаткових зразках з аналогічним ступенем ущільнення.

7. Зняти лоток 7, видалити зруйнований зразок, ретельно очистити лоток і поставити на місце; встановити показчик каретки на „0”.

Таблиця 5.1 – Результати дослідів

Номер зразка	Кількість ударів копра			
	1	3	6	9
	Міцність на стиск $\sigma_{ст}$, кПа			
1				
2				
3				
Середнє арифметичне $\overline{\sigma_{ст}}$, кПа				

4 Аналіз отриманих результатів та висновки

Визначити середнє арифметичне значення міцності рівноущільнених зразків. Побудувати графічну залежність міцності зразків від ступеню їх ущільнення. Проаналізувати отриману графічну залежність та зробити висновок щодо впливу ступеню ущільнення на міцність на стиск формувальної суміші у сирому стані.

5 Оформлення звіту

- назва та мета роботи, теоретичні відомості (за бажанням);
- послідовність виконання роботи;
- графічну залежність міцності зразків від ступеню їх ущільнення;
- аналіз отриманих результатів;
- висновки за результатами роботи.

6 Контрольні завдання та запитання для підготовки до роботи

1. Охарактеризуйте поняття міцності сумішей.
2. Що являє собою стандартний циліндричний зразок?
3. Наведіть технологію виготовлення стандартних циліндричних зразків.
4. Як проводять визначення міцності на стиск?
5. Які параметри суміші впливають на міцність на стиск.

7 Список рекомендованої літератури

Література: [3], [7], [8].

Лабораторна робота № 6

ВИЗНАЧЕННЯ ГАЗОПРОНИКНОСТІ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ.

ВПЛИВ СТУПЕНЮ УЩІЛЬНЕННЯ НА ГАЗОПРОНИКНІСТЬ

СУМІШЕЙ

Мета роботи – дослідити залежність газопроникності формувальної суміші від ступеня ущільнення. Визначити газопроникність формувальних сумішей нормальним і прискореним методами.

1 Загальні відомості

В процесі виготовлення виливків особливо важливим є проміжок часу від початку заливання розплавленого металу у форму до кінця його твердіння. В цей період відбувається механічна, теплова та фізико-хімічна взаємодія між розплавом, матеріалом форми та газами, які знаходяться у порожнині та утворюються під дією високої температури.

Процеси взаємного об'ємного та дифузійного проникнення рідкої, твердої та газоподібних фаз можуть призвести до зміни хімічного складу, суцільності, фізико-механічних властивостей (міцності, пластичності, твердості, оброблюваності), якості поверхні та виникнення вкраплин різного походження (газових та неметалевих раковин) у виливках – готових виробах.

Найгіршим є те, що газові дефекти в основному знаходяться всередині виливків та викриваються під час механічного оброблення та під час проведення фінішних операцій, що збільшує втрати від браку. Невиявлені газові дефекти деталей знижують міцність вузлів та надійну роботу машин та механізмів.

1.1 Взаємодія ливарної форми з газами

Під час заливання розплавленого металу поверхні форми і стрижня нагріваються, що призводить до газоутворення.

Джерелами газів є повітря у порожнині форми, волога формувальної та стрижневої суміші, яка випаровується, продукти горіння та розкладу органічних складових формувальних матеріалів.

Під час нагрівання усі гази збільшуються у об'ємі:

$$V_t = V_0 \cdot \left(1 + \frac{1}{273} \cdot t\right),$$

де V_t – об'єм газу за температури t , м³;

V_0 – об'єм газу за нормальних умов, м³;

t – температура, °C.

Наприклад, 1 см³ води в процесі випаровування дає 1240 см³ водяної пари, а під час подальшого перегрівання її об'єм продовжує зростати.

Основними газами, які утворюються у формі, є водень (до 60 % за об'ємом), чадний газ (до 35 %), вуглекислий газ, водяна пара, кисень, азот, оксиди азоту, вуглеводні (в першу чергу метан). Отже, об'єм виділених формою газів залежить від вологості суміші, складу і вмісту різних добавок, температури прогрівання суміші.

Для опису процесів взаємодії газів із ливарними формами прийнято розрізняти дві властивості формувальних сумішей – газотвірну здатність і газопроникність.

Газотвірна здатність – це характеристика, яка показує, який об'єм газів виділяється з одиниці маси або одиниці об'єму суміші в процесі її нагрівання до робочих температур.

1.2 Газопроникність формувальних та стрижневих сумішей.

Визначення газопроникності

Газопроникність – властивість формувальних сумішей проводити гази через ущільнену форму (стрижень).

Форма має пропустити всі гази, які в ній утворилися, щоб вони не потрапили у рідкий метал, оскільки це може призвести до виникнення газових дефектів у виливках.

Газопроникність форми залежить, насамперед, від її пористості.

Величина газопроникності формувальної та стрижневої сумішей залежить від їхнього складу, гранулометричного складу піску (розміру зерен, ступеню розосередженості піщинок різних розмірів), природи зв'язувального компонента, ступеню їх ущільнення тощо.

Газопроникність формувальних сумішей визначають на стандартних циліндричних зразках у сирому та сухому (або після затвердіння) станах виготовлених трьома ударами (стандартне ущільнення) лабораторного копра (див. рис. 5.1) шляхом пропускання через них повітря кімнатної температури, не вилучаючи з гільзи. Газопроникність розраховують за формулою:

$$\Gamma = \frac{V \cdot h}{F \cdot P \cdot t} \quad (6.1)$$

де Γ – газопроникність суміші, $\text{см}^2/(\text{см. вод. ст.} \cdot \text{хв.})$; од.;

V – об'єм повітря, яке пройшло через зразок, см^3 ;

h – висота зразка, см ;

F – площа поперечного перерізу зразка, см^2 ;

P – тиск повітря перед зразком, см. вод. ст. ;

t – час, протягом якого через зразок пройшло $V \text{ см}^3$ повітря, хв.

За нормального методу через зразок висотою і діаметром 50 мм пропускають 2000 см³ повітря. В цьому випадку формула (6.1) для визначення газопроникності набуває вигляду:

$$\Gamma = \frac{2000 \cdot 5}{3,14 \cdot \left(\frac{5}{2}\right)^2 \cdot P \cdot t} = \frac{509,5}{P \cdot t}, \quad (6.2)$$

де Γ – газопроникність суміші, см²/(см. вод. ст. · хв.); од.;

P – тиск повітря перед зразком, см. вод. ст.;

t – час, протягом якого через зразок пройшло 2000 см³ повітря, хв.

Слід зазначити, що газопроникність прийнято позначати в умовних одиницях (од.), а її розмірністю нехтують. Прийнята методика дозволяє вимірювати газопроникність від 0 до 2000 одиниць, але для більшості формувальних і стрижневих сумішей вона не перевищує 400 одиниць. Для піщано-глинястих сирих сумішей вважають задовільним, якщо газопроникність більша за 100 одиниць.

За прискореного методу визначення газопроникності на шляху руху повітря встановлюють додатковий опір у вигляді каліброваного ніпелю. Внаслідок цього забезпечується надходження повітря під зразок з постійною швидкістю. Крім цього, на дзвін встановлюють додатковий вантаж масою 0,23 кг. Тиск повітря під зразком в цьому випадку залежить тільки від газопроникності суміші, що і лежить в основі методу.

За прискореного методу не вимагається пропускати через зразок 2000 см³ повітря і проводити розрахунки, що є його перевагою. Проте він є менш точним унаслідок зміни густини і утворення вихорів під час проходження повітря через калібрований отвір.

Визначення газопроникності проводять на приладі схематично зображеному на рисунку 6.1.

На чавунній основі 1 закріплений бак 2 з трубою 3. Усередині бака розміщується дзвін 4. Дзвін має трубку 5 і рукоятку 7. Під час опускання дзвону в бак трубка 5 входить в трубку 3. На поверхні дзвону є відмітки „2000”, „1000”, „0”, „X”.

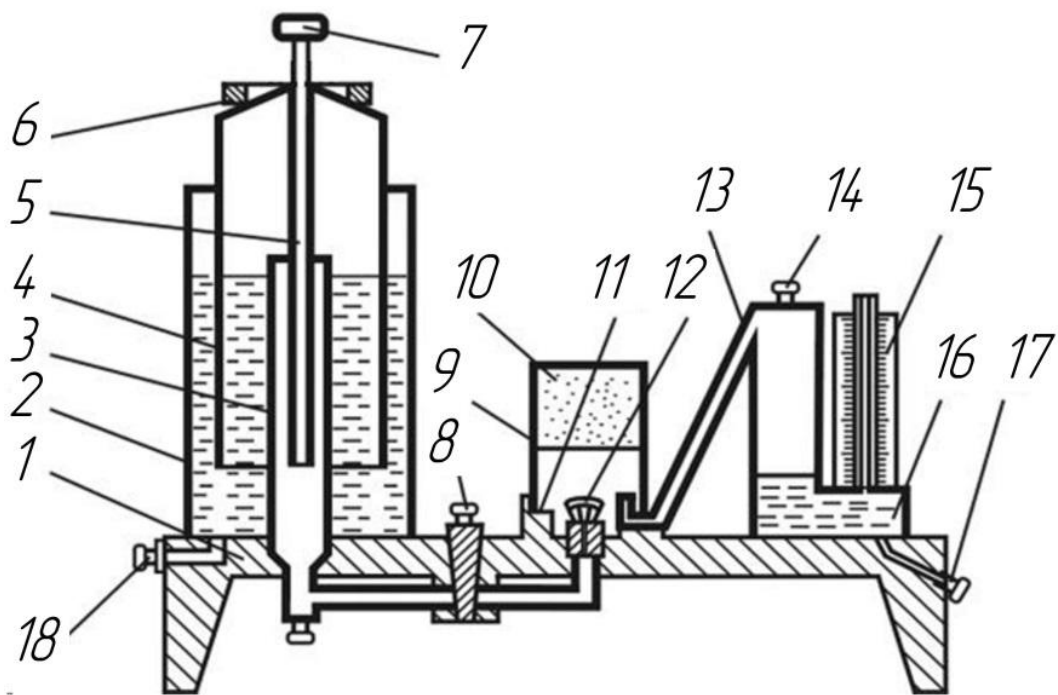
Зверху дзвону 4 лежить знімний вантаж 6.

До початку випробування в бак 2 наливають воду і в неї опускають дзвін 4.

Повітря, яке знаходиться в дзвоні, через отвір в трубці 5, а далі через трубку 3 і трипозиційний кран 8 поступає в гільзу 9 із зразком 10, закріплену в чашці затвора 11. Трипозиційний кран регулює напрямок руху повітря:

- у положенні крана „Закрито” повітря з-під дзвону не виходить;
- у положенні крана „Відкрито” повітря випускається з приладу в атмосферу;
- у положенні крана „Випробування” повітря прямує через повітропровід в гільзу під зразок. В чашці затвора 11 на кінці повітропроводу є нарізка, в яку вкручується калібрований ніпель 12 з отвором 0,5 мм або ніпель з отвором 1,5 мм.

Порожнина в чашці затвора під дослідним зразком (між стінками гільзи 9) сполучена повітропроводом 13 з водним манометром 16. Воду випускають з бачка манометра через зовнішній отвір 17, заповнення манометра водою проводять через отвір 14. Тиск фіксують за допомогою шкали 15. Установка приладу в горизонтальне положення проводять за допомогою трьох монтажних гвинтів.



1 – основа; 2 – бак; 3 – труба; 4 – дзвін; 5 – трубка; 6 – вантаж; 7 – рукоятка;
 8 – трипозиційний кран; 9 – гільза, 10 – зразок; 11 – чашка затвора; 12 – ніпель;
 13 – повітропровід; 14 – отвір для заливання води; 15 – шкала манометра;
 16 – манометр; 17, 18 – зливні канали

Рисунок 6.1 – Схема приладу для визначення газопроникності сумішей

2 Обладнання та матеріали

Лабораторний копер, прилад для визначення газопроникності, гільза, чашка, виштовхувач, секундомір, лопатка, формувальна суміш.

3 Послідовність виконання роботи

Дослідження провести у наступній послідовності:

1. В трьох стандартних гільзах з внутрішнім діаметром 50 мм заввишки 120 мм за допомогою лабораторного копра провести стандартне ущільнення (трьома ударами копра) зразків. Зразки з гільз не витягувати.

2. Визначити газопроникність кожного зразка **нормальним методом** у наступній послідовності:

2.1 Приготувати секундомір.

2.2 Поставити кран в положення „Відкрито”, плавно підняти дзвін до збігання відмітки „Х” з верхньою кромкою бака і поставити кран в положення „Закрито”.

2.3 Одягнути на пробку затвора гільзу із дослідним зразком із формувальної або стрижневої суміші.

2.4 Поставити кран в положення „Випробування” і у момент проходження дзвоном відмітки „0” увімкнути секундомір.

2.5 У момент проходження дзвоном відмітки „1000” зафіксувати показ водного манометра.

2.6 У момент проходження дзвоном відмітки „2000” зупинити секундомір.

2.7 Розрахувати газопроникність за формулою (6.2). Результати розрахунків занести до таблиці 6.1.

3. Визначити газопроникність тих же зразків **прискореним методом** у наступній послідовності:

3.1 Встановити на дзвін вантаж, а у чашку затвора – додатковий опір у вигляді ніпелю з отвором діаметром 1,5 мм.

Примітка. Ніпель діаметром 1,5 мм застосовують тільки для випробування сумішей з газопроникністю більше 49 од., а ніпель з отвором діаметром 0,5 мм – для випробування сумішей з газопроникністю менше 49 од.

3.2 Поставити кран в положення „Відкрито”, плавно підняти дзвін на довільну висоту і поставити кран в положення „Закрито”.

3.3 Одягнути гільзу із дослідним зразком на гумову пробку затвора.

3.4 Поставити кран в положення „Випробування” і під час опускання дзвону зафіксувати покази манометра.

Примітка. Після відкриття крана в перший момент стовпчик води в манометрі піднімається на максимальну висоту, після чого значення тиску повільно знижується. Необхідно зафіксувати максимальне значення тиску, яке відповідає моменту відкриття крана.

3.5 Газопроникність визначити за однією з двох таблиць, закріплених на баку приладу, в залежності від діаметра використаного ніпелю. Результати занести до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати визначення газопроникності стандартних зразків

Номер зразка	Нормальний метод				Прискорений метод			
	P , см. вод. ст.	t , хв	G , од	\bar{G} , од	діаметр ніпелю, мм	P , см. вод. ст.	G , од	\bar{G} , од
1								
2								
3								

4. Виготовити по три зразки, ущільнені одним, шістьма і дев'ятьма ударами копра.

5. Випробувати газопроникність кожного зразка прискореним методом (відповідно до п.3) і дані занести до таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Результати визначення газопроникності прискореним методом

Кількість ударів копра	1			6			9		
Номер зразка	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Діаметр ніпелю, мм									
P , см. вод. ст.									
G , од									
\bar{G} , од									

4 Аналіз отриманих результатів та висновки

Визначити середнє арифметичне значення газопроникності рівноущільнених зразків за нормальним та прискореним методами. Побудувати графічну залежність газопроникності суміші від ступеню її ущільнення за чотирма точками, використовуючи дані таблиці 6.1 та 6.2. Проаналізувати збіжність результатів визначення газопроникності стандартних зразків (ущільнених трьома ударами копра) за нормальним та прискореним методами. Оцінити переваги та недоліки використання кожного методу визначення газопроникності та зробити висновки щодо впливу ступеня ущільнення суміші на її газопроникність.

5 Оформлення звіту

- назва та мета роботи, теоретичні відомості (за бажанням);
- послідовність виконання роботи;
- графічну залежність газопроникності суміші від її ступеню ущільнення;

- аналіз отриманих результатів;
- висновки за результатами роботи.

6 Контрольні завдання та запитання для підготовки до роботи

1. Дайте поняття газопроникності формувальної суміші.
2. Якими методами визначають газопроникність сумішей?.
3. Наведіть методику визначення газопроникності різними методами.
4. Наведіть фактори, від яких залежить газопроникність формувальних і стрижневих сумішей.
5. Якими технологічними операціями можна підвищити газопроникність?

7 Список рекомендованої літератури

Література: [3], [4], [8].

Лабораторна робота № 7

ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ МЕТОДОМ ВІДЦЕНТРОВОГО ЛИТТЯ. ВПЛИВ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ФОРМИ НА ГУСТИНУ ВИЛИВКІВ ВИГОТОВЛЕНИХ ВІДЦЕНТРОВИМ ЛИТТЯМ

Мета роботи – отримати виливок методом відцентрового лиття, дослідити вплив частоти обертання форми на густину виливків.

1 Загальні відомості

Відцентровим способом лиття отримують виливки з чавуну, сталі, сплавів титану, золота, срібла, магнію, алюмінію, міді, цинку, які являють собою тіла обертання, а також фасонні деталі, зуботехнічні, художні, ювелірні та біметалічні вироби.

Для отримання тіл обертання використовують прості металеві форми – виливниці, а для фасонних виливків – кокілі, об'ємні форми з керамічних, гіпсових, піщано-смоляних та інших сумішей.

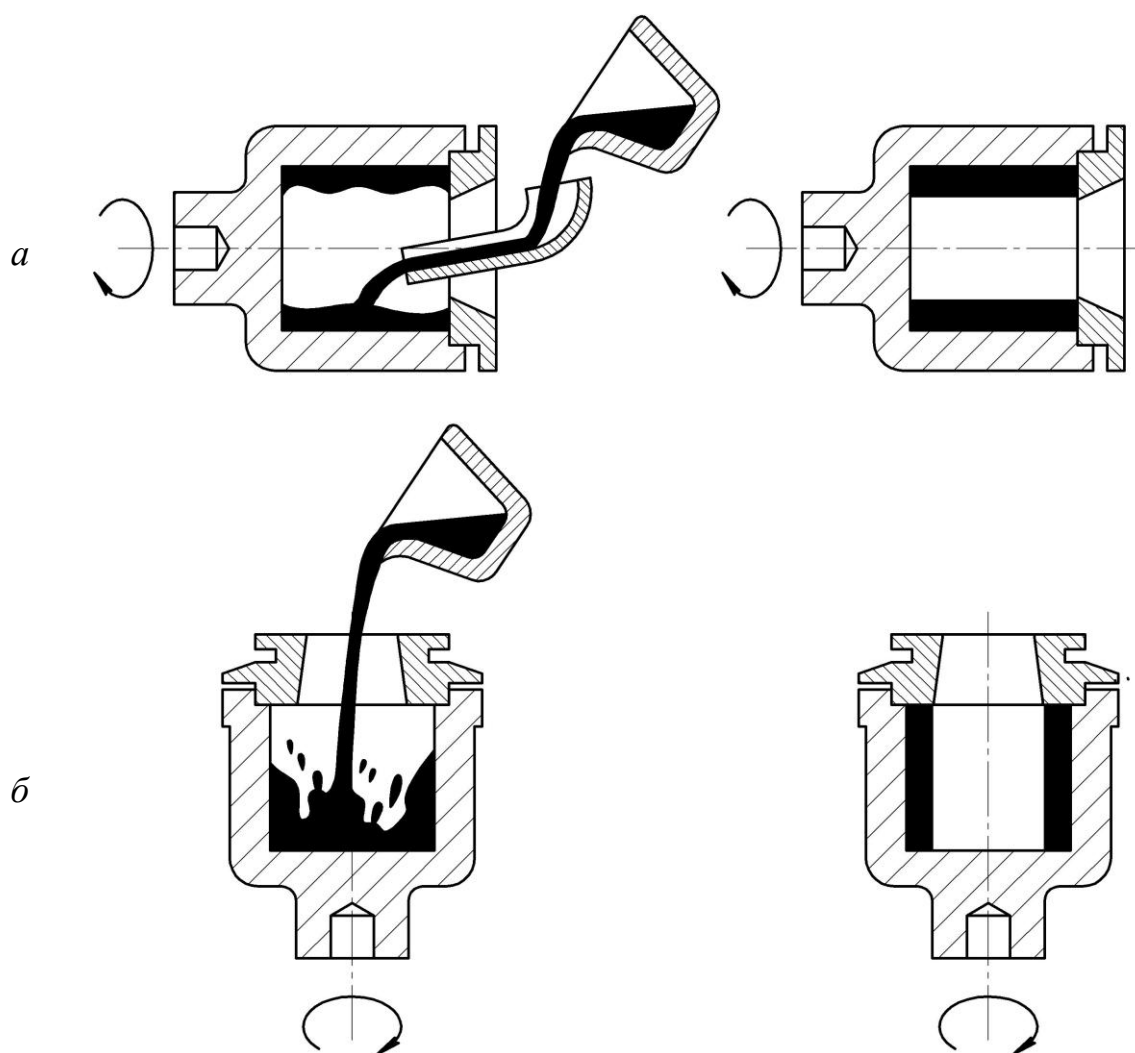
Відцентровим литтям називається процес отримання виливків шляхом вільного заливання металу в форми, що обертаються, при цьому виливок формується під дією відцентрових сил.

Даний спосіб дозволяє отримувати виливки з мінімальною витратою сплаву на ливникову систему, високою густиною сплаву в тілі вилівка за рахунок зменшення кількості та розмірів порожнин усадкового і газового походження та можливістю виготовлення порожнистих виливків без використання стрижнів.

Недоліки способу – складність виготовлення якісних виливків із сплавів, схильних до ліквації, обмежена номенклатура виливків, що є тілами обертання (труби, вінці черв'ячних коліс, гільзи двигунів внутрішнього згорання та ін.) та низька розмірна точність їх внутрішньої поверхні.

1.1 Загальна характеристика відцентрового лиття

Лиття порожнистих циліндричних заготовок відцентровим способом (рис. 7.1) засноване на тому, що рідкий метал, залитий у форму (виливницю), яка обертається, під дією відцентрових сил притискається до стінок форми, за рахунок сил тертя він захоплюється в обертання і в цих умовах охолоджується до повного тверднення.



а – з горизонтальної віссю обертання; *б* – з вертикальною віссю обертання

Рисунок 7.1 – Схема відцентрового лиття порожнистих циліндричних заготовок на машинах з різними осями обертання

При цьому у виливках утворюється порожнина, розмір якої залежить від кількості залитого в форму металу. Рух розплаву в процесі кристалізації сприяє подрібненню структури та покращенню механічних властивостей виливка.

Величину відцентрової сили визначають за формулою:

$$P = \frac{G}{g} \cdot \omega^2 \cdot r,$$

де P – відцентрова сила, Н;

G – маса металу виливка, кг;

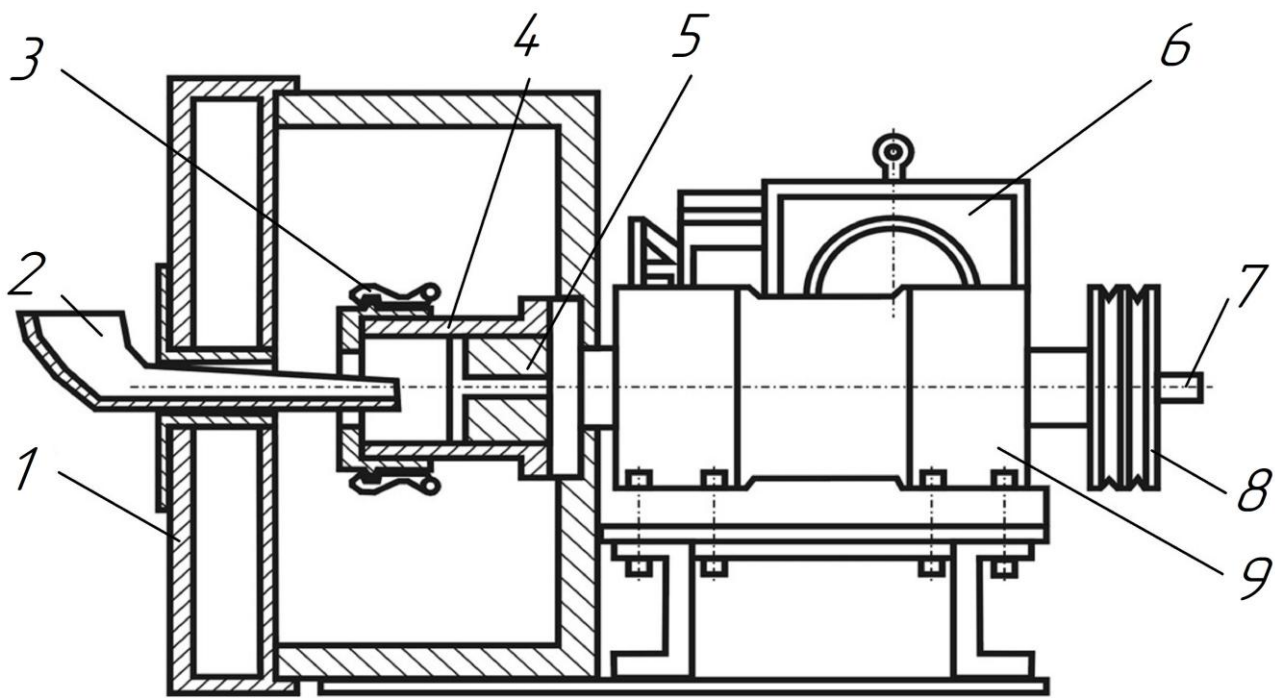
g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

ω – кутова швидкість, рад/с;

r – відстань центру тяжіння об'єму металу від осі обертання, кг.

1.2 Технологічні особливості відцентрового лиття

Для методу відцентрового лиття застосовують машини з горизонтальною (рис. 7.1, а), нахиленою і вертикальною осями обертання (рис. 7.1, б) виливниці. Машини з горизонтальною (рис. 7.2) і нахиленою осями обертання застосовують для виготовлення таких виливків як труби різного діаметру і довжини, а з вертикальною – для виготовлення виливків типу тіл обертання, діаметр яких значно більший за висоту. Внутрішня поверхня таких виливків має вид параболоїда обертання, тому вони мають різну товщину по висоті.



1 – дверцята; 2 – жолоб; 3 – відцентрові затискачі; 4 – виливниця;
 5 – змінна вставка; 6 – варіатор швидкості обертання; 7 – шток виштовхувача;
 8 – шків клинопасової передачі; 9 – корпус підшипника

Рисунок 7.2 – Відцентрова машина з горизонтальною віссю обертання

Великий вплив на якість виливків отриманих відцентровим литтям має частота обертання виливниці. Оптимальну частоту обертання виливниці можна визначити за емпіричною формулою Константінова Л.С.:

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\gamma \cdot r}},$$

де n – частота обертання виливниці, об/хв;
 γ – густина сплаву, що заливається, г/см³;
 r – внутрішній радіус виливка, см.

Також частоту обертання виливниці для виготовлення виливків можна визначити за номограмою (рис. 7.3).

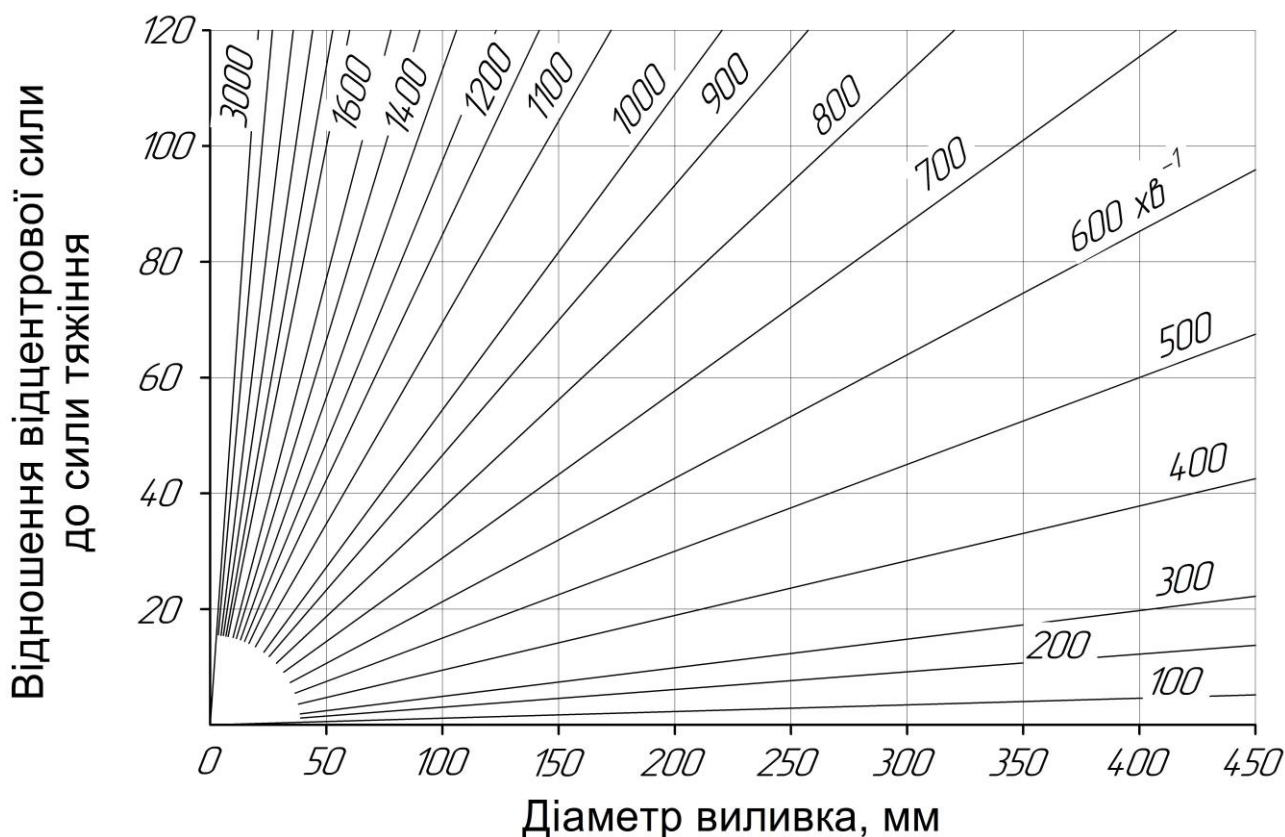


Рисунок 7.3 – Номограма для визначення частоти обертання виливниці

Нехтування важливістю цього технологічного параметру може призвести до утворенню у виливках порожнин, найчастіше у вигляді пор. Для оцінки якості виливка отриманого відцентровим способом проводять визначення його густини. Оскільки визначити густину виливка напряду через його об'єм та масу неможливо (похибку вносять можливі внутрішні дефекти), то її розраховують за формулою 7.1, застосовуючи метод гідростатичного зважування, у основі якого лежить використання виштовхувальної (Архімедової) сили.

$$\gamma = \frac{M_{\text{п}} \cdot \gamma_{\text{р}}}{M_{\text{п}} - M_{\text{р}}}, \quad (7.1)$$

де $M_{\text{п}}$, $M_{\text{р}}$ – маса зразка на повітрі та в рідині відповідно, г;

$\gamma_{\text{р}}$ – густина рідини, $\gamma_{\text{р}} = 1 \text{ г/см}^3$.

Також важливим фактором отримання якісного виливка є попередня підготовка до заливання самої виливниці. Перед заливанням її підігрівають до температури від 120°C до 250°C для заливання сплавів алюмінію, до температури від 50°C до 150°C – для сплавів міді і до 150°C – для чавуну. Запобігання контакту її робочої поверхні з розплавленим металом забезпечують нанесенням рідкого або сипкого теплоізоляційного покриття. Для вилучення виливка на робочу поверхню виливниці наносять розділове покриття.

2 Обладнання та матеріали

Відцентрова машина з горизонтальною віссю обертання, виливниця, термопара занурення з потенціометром, молоток, кліщі, ножівка, електронні терези, ємність з водою, заливальний ківш, фарба, алюмінієвий розплав марки АК12.

3 Послідовність виконання роботи

Лабораторну роботу виконати у наступній послідовності:

1. Ознайомитися з конструкцією відцентрової машини. Підігріти виливницю, кришку і жолоб до температури від 100°C до 120°C і пофарбувати фарбою складу: вода – 100 мас. ч., рідке скло – 6 мас. ч., крейда – 25 мас. ч. і оксид цинку – 25 мас. ч.

2. Зібрати виливницю під заливання, закрити кожух машини і встановити жолоб в отвір дверцят.

3. Приготувати 15 кг сплаву з вмістом кремнію від 10 % до 13 % (марка сплаву АК12) і перегріти його до температури 720 °С.

4. За допомогою варіатора швидкостей по тахометру по чергово встановити частоту обертання виливниці 300 хв⁻¹, 600 хв⁻¹, 900 хв⁻¹ і 1200 хв⁻¹ і на кожному режимі відлити по три заготовки. Через 30 с після заливання сплаву вимкнути електродвигун машини, відкрити кожух, зняти кришку і кліщами вилучити вилівок.

5. Одержані виливки (втулки діаметром 151 мм, завдовжки 80 мм і товщиною стінки від 15 мм до 18 мм) охолодити і вирізати ножівкою три зразки розмірами приблизно 18 мм × 18 мм × 18 мм.

6. Визначити масу зразків на повітрі (M_{Π}) та у воді (M_P). Результати вимірювань занести до таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Результати дослідження

Частота обертання, хв. ⁻¹	Маса зразків, г						Густина рідини γ , г/см ³
	1		2		3		
	М _{П1}	М _{Р1}	М _{П2}	М _{Р2}	М _{П3}	М _{Р3}	
300							
600							
900							
1200							

7. Розрахувати густина сплаву у зразках за формулою 7.1. Результати розрахунків занести до таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Результати розрахунків

Температура сплаву, °С	Частота обертання, хв. ⁻¹	Густина АК12, г/см ³			
		γ_1	γ_2	γ_3	γ_{cp}
	300				
	600				
	900				
	1200				

4 Аналіз отриманих результатів та висновки

Визначити середні арифметичні значення густини сплаву у зразках за різної частоти обертання виливниці. За визначеними даними побуду графічну залежність частоти обертання виливниці на густину виливка, проаналізувати отримані результати та зробити відповідні висновки.

5 Оформлення звіту

- назва та мета роботи, теоретичні відомості (за бажанням);
- послідовність виконання роботи;
- графічна залежність частоти обертання виливниці на густину виливків;
- аналіз отриманих результатів;
- висновки за результатами роботи.

6 Контрольні завдання та запитання для підготовки до роботи

1. В чому полягає сутність процесу відцентрового лиття?
2. Перерахуйте основні переваги та недоліки відцентрового лиття.
3. Яким чином визначають оптимальну частоту обертання виливниці?

4. Як визначити густину сплаву у зразках?
5. Опишіть процес підготовки виливниці до роботи.

7 Список рекомендованої літератури

Література: [5], [6].

Лабораторна робота № 8

РІДКОТЕКУЧИСТЬ СПЛАВІВ. ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЛИВАННЯ ФОРМИ НА РІДКОТЕКУЧИСТЬ

Мета роботи – дослідити вплив температури заливання форми на рідкотекучість силумінів з використанням спіральної проби.

1 Загальні відомості

Рідкотекучість – здатність рідкого металу заповнювати ливарну форму.

Але на здатність заповнювати ливарну форму впливає декілька груп факторів які залежать від:

- властивостей металу або сплаву (хімічний склад, температурний інтервал та теплота кристалізації, в'язкість, поверхневий натяг, теплоємність, теплопровідність, схильність до плівкоутворення, наявність неметалевих включень, схильність до розчинення газів і тощо)

- властивостей ливарної форми (матеріал форми, шорсткість поверхні, газопроникність, вологість, змочуваність її поверхні розплавом, газотвірна здатність, теплоємність, теплопровідність, теплоакумулювальна здатність тощо);

- умов заповнення ливарної форми (металостатичний напір, температура ливарної форми, конфігурація ливникової системи та робочої порожнини, перегрівання розплаву тощо).

Якщо сплав має низьку рідкотекучість, то під час заповнення тонкостінних елементів ливарних форм рух розплаву може припинитися раніше, ніж форма буде заповнена, в результаті чого утворюється дефект, який не можна виправити – недолив. Виливки з таким дефектом відправляють на переплавлення. Якщо під час заповнення форми металом з низькою рідкотекучістю виникають зустрічні потоки металу, то вони можуть не злитися,

в результаті чого утворюється отвір довільної форми або наскрізна щілина в стінці виливки, такий дефект називають незлитина. Якщо розміри цього дефекту невеликі, то він може бути виправлений шляхом заварювання.

Заповнення ливарної форми не є чисто гідравлічним процесом, так як рух розплаву у формі супроводжується його охолодженням. За температури нижчої від температури ліквідусу в розплаві утворюється тверда фаза у вигляді кристалів. У міру накопичення твердої фази швидкість течії зменшується, і за певного відсотку твердих кристалів рух припиняється. Можливість заповнення ливарної форми обмежена часом, протягом якого розплав, перебуваючи в рідкому та рідко-твердому станах, зберігає здатність текти. Цей час для одного і того ж сплаву за однакових гідравлічних умов заповнення визначається тепловими характеристиками: початковими температурами рідкого сплаву і ливарної форми, їх теплофізичними властивостями, особливостями передачі теплоти через межу розділу метал-форма і тепловим випромінюванням в порожнині ливарної форми.

Різні сплави за порівняно однакових теплових характеристик і гідравлічних умов володіють різною здатністю текти і заповнювати ливарну форму. Це зумовлено, насамперед, особливостями їхньої кристалізації. Сплави з широким інтервалом кристалізації тверднуть з утворенням розгалужених дендритів, які ростуть перпендикулярно поверхні форми, що відводить тепло, тобто, поперек течії металу, що заповнює порожнину форми. При цьому ефективний перетин каналів швидко зменшується і рух металу утруднюється. Тому такі сплави заповнюють форму гірше, ніж чисті метали і евтектичні сплави, які кристалізуються за постійної температури з утворенням нерозгалужених дендритів і кристалів компактної форми.

1.1 Різновиди рідкотекучості сплавів

Для порівняльної оцінки рідкотекучості різних за хімічним складом сплавів та для уникнення впливу температури заливання розрізняють: **істинну, умовно-істинну та практичну рідкотекучість.**

Істинною називають рідкотекучість, яку визначають за однакового перегрівання металу або сплаву над температурою нульової рідкотекучості (рис. 8.1, а). Нульова рідкотекучість сплавів, тобто температура, за якої сплав втрачає рухомість, настає за температури, що лежить між температурами (лініями) ліквідуса та солідуса за відповідної кількості твердої фази. Через важкість визначення температури нульової рідкотекучості на практиці визначають не істинну, а умовно-істинну рідкотекучість.

Умовно-істинною називають рідкотекучість, яку визначають за однакового перегрівання металу або сплаву над температурою ліквідус (рис. 8.1, б).



a – істинна рідкотекучість; $б$ – умовно-істинна рідкотекучість; $в$ – практична рідкотекучість

t_3 – температура заливання; t_n – температура нульової рідкотекучості;

t_l – температура ліквідус; t_c – температура солідус

Рисунок 8.1 – Види рідкотекучості

Практичною називають рідкотекучість, яку визначають за однакової температури заливання (рис. 8.1, в). Саме її найчастіше використовують на практиці для оцінки рідкотекучості металів та сплавів.

1.2 Технологічні проби для визначення рідкотекучості

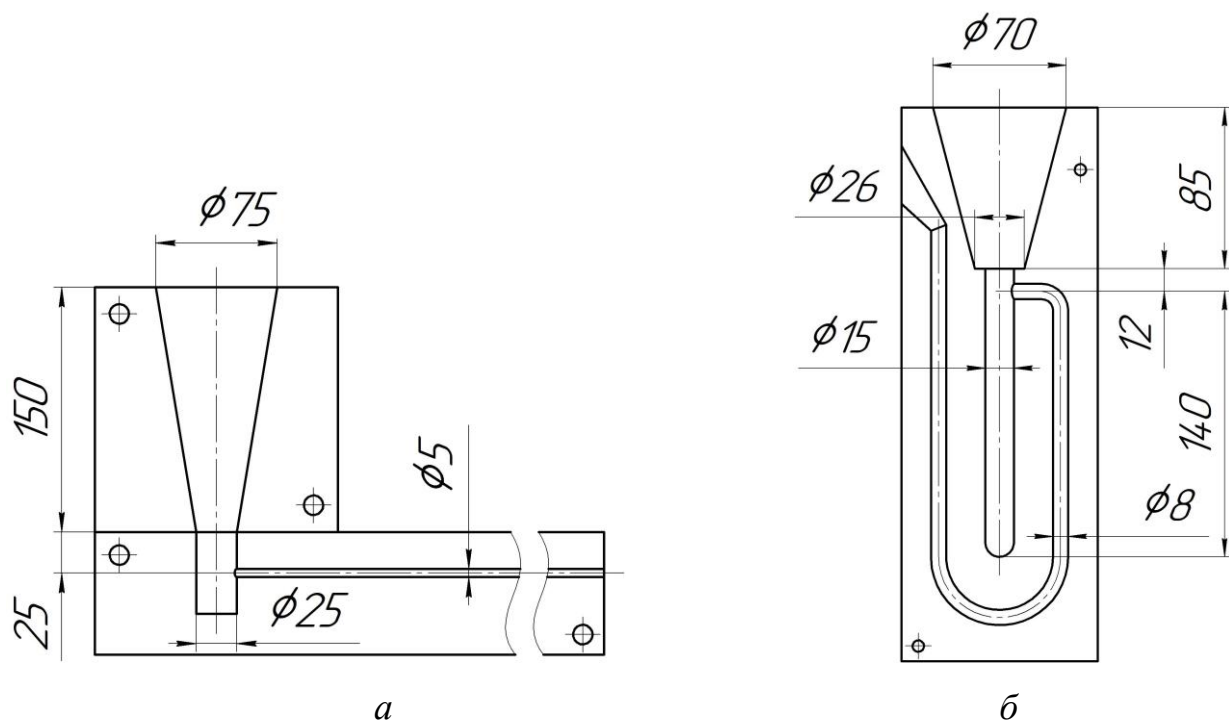
Мірою рідкотекучості у всіх пробах є ступінь заповнення порожнини форми розплавом. Всі проби поділяють на три групи:

- постійного перерізу (використовують найчастіше): пруткова (рис. 8.2, а), U-подібна (рис. 8.2, б), спіральна (рис. 8.3);
- змінного перерізу (клинова, кулькова);
- комбіновані.

За допомогою проб постійної площі перерізу оцінюють здатність сплавів заповнювати довгі порожнини форми, а за допомогою кулькових та клинових проб – здатність сплаву заповнювати тонкі канали та порожнини у формі.

Під час заливання складену з двох половин форму встановлюють горизонтально по рівню. Через ливникову систему метал поступає в металоприймач і порожнину форми, конструкція яких забезпечує надходження металу з постійною швидкістю. Для забезпечення однакового металостатичного напору стояк попередньо перекривають пробкою, яку видаляють після наповнення чаші металом.

Для спрощення вимірювань у каналі спіральної проби роблять заглиблення через кожні 50 мм. Вони відтворюються на пробі у вигляді виступів. За цими виступами визначають довжину спіралі. Саме ця довжина, виражена в мм, і є характеристикою рідкотекучості металу або сплаву в даних умовах.



а – пруткова проба; б – U-подібна проба

Рисунок 8.2 – Проби для визначення рідкотекучості

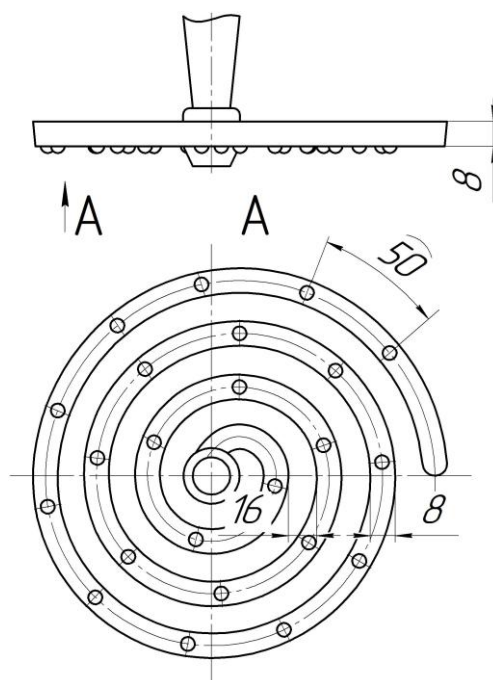


Рисунок 8.3 – Спиральна проба для визначення рідкотекучості

2 Обладнання та матеріали

Кокіль з порожниною у формі спіральної проби, термopapa занурення з потенціометром, молоток, кліщі, заливальний ківш, фарба, алюмінієвий розплав марки АК12.

3 Послідовність виконання роботи

Лабораторну роботу виконати у наступній послідовності:

1. Приготувати евтектичний алюмінієвий сплав АК12 з нульовим інтервалом кристалізації і довести його температуру до діапазону від 640 °С до 650 °С.
2. Залити розплав у кокіл з порожниною у формі спіральної проби, зробити витримку до повної кристалізації сплаву в стояку, витягти спіральну пробу з кокілю, визначити її довжину.
3. Повторити операцію п.2 за температур від 680 °С до 690 °С, від 720 °С до 730 °С та від 760 °С до 770 °С відповідно.
4. Значення рідкотекучості занести до таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Результати досліджень

Марка силуміну	Температура заливання форм, °С	Рідкотекучість, мм
АК12	від 640 °С до 650 °С	
	від 680 °С до 690 °С	
	від 720 °С до 730 °С	
	від 760 °С до 770 °С	

4 Аналіз отриманих результатів та висновки

Побудувати графік залежності рідкотекучості від температури алюмінієвого розплаву. Проаналізувати зміну значення рідкотекучості за підвищення температури розплаву та зробити висновки щодо впливу на рідкотекучість як температури розплаву, так і температури ливарної форми.

5 Оформлення звіту

- назва та мета роботи, теоретичні відомості (за бажанням);
- послідовність виконання роботи;
- графічна залежність рідкотекучості від температури заливання форми;
- аналіз отриманих результатів;
- висновки за результатами роботи.

6 Контрольні завдання та запитання для підготовки до роботи

1. Що таке рідкотекучість сплаву?
2. Як визначається істинна рідкотекучість?
3. Від чого залежить рідкотекучість сплавів?
4. Які технологічні проби використовуються для визначення рідкотекучості?
5. Де знаходиться лінія нульової рідкотекучості на діаграмі стану?

7 Список рекомендованої літератури

Література: [4], [8].

Лабораторна робота № 9

МОДИФІКУВАННЯ СИЛУМІНІВ. ВПЛИВ МОДИФІКУВАННЯ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СИЛУМІНІВ

Мета роботи – дослідити вплив модифікування натрієм у складі потрійного модифікатора та часу ізотермічної витримки на міцність силуміну в литому стані.

1 Загальні відомості

Для виготовлення виливків зі сплавів кольорових металів найбільшого розповсюдження у промисловості набули силуміни – сплави системи Al-Si через поєднання у собі комплексу механічних, експлуатаційних та ливарних властивостей. Діаграма стану сплаву алюмінію з кремнієм (рис. 9.1) має евтектичне перетворення за вмісту кремнію на рівні 11,7 %, а сплави на її основі розділяють на доевтектичні, евтектичні та заевтектичні, властивості яких визначають область їхнього промислового застосування.

Однак важко забезпечити необхідний рівень механічних властивостей виливків під час лиття силумінів в форми з невисокою швидкістю охолодження (піщані і керамічні форми, товстостінні виливки в кокіль). Низькі механічні характеристики пояснюються формуванням в структурі грубих кристалів кремнію, які є концентраторами напружень та по яким відбувається руйнування виливка вже за відносного видовження 3 %.

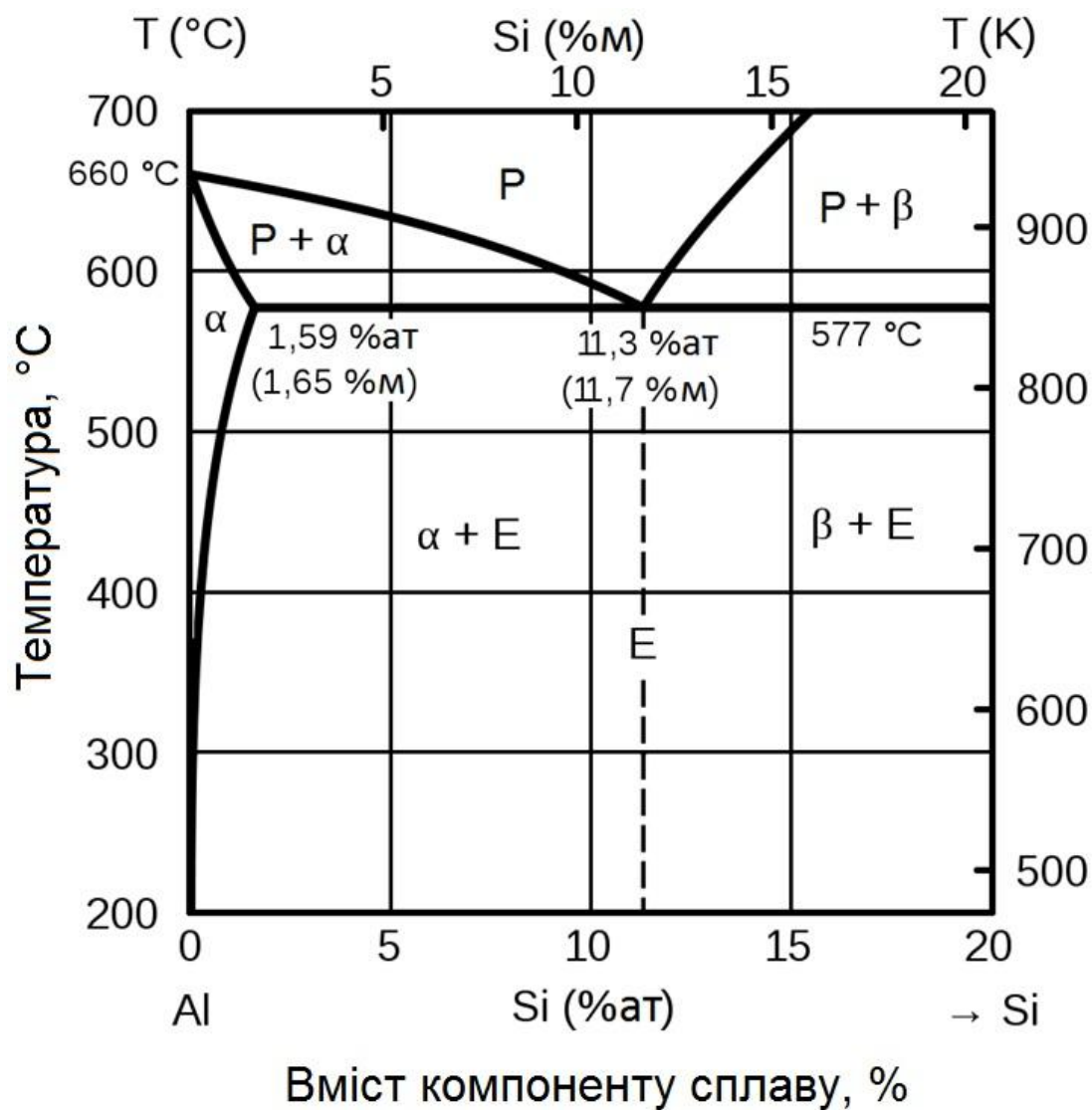


Рисунок 9.1 – Діаграма стану сплаву Al-Si

1.1 Плавлення силумінів

Плавлення силумінів у промисловості зазвичай проводять без захисної атмосфери у електричних або паливних тигельних печах. Внаслідок цього та через активність алюмінію на поверхні розплаву, яка контактує з атмосферним повітрям утворюється оксидна плівка, яка може потрапити у розплав в процесі його перемішуванні. Також джерелом оксидних плівок та краплин у розплаві є шихтові матеріали та сполуки, які утворилися в результаті взаємодії розплаву з

футерівкою тигля або з самим тиглем. Найбільш шкідливими є крупні оксидні плівки та шлакові вкраплини, які є концентраторами напружень та призводить до погіршення механічних властивостей виливків. Окрім цього алюмінієві сплави схильні до газонасичення, особливо воднем. В процесі плавлення в атмосфері повітря алюміній насичується воднем, концентрація якого у розплаві може досягати значень від $1,0 \text{ см}^3$ до $1,5 \text{ см}^3$ на 100 г. Крім того поверхня шихтових матеріалів теж є джерелом насичення розплаву воднем, оскільки до її складу входить $\text{Al}(\text{OH})_3$ у кількості від 30 % до 60 %, який у процесі плавлення розкладається. Висока концентрація водню у розплаві призводить до утворення дефектів газового походження у виливках (поруватість), так як під час зниження температури розплаву розчинений у ньому водень виділяється у вигляді бульбашок, які залишаються у виливку.

Для очищення розплаву від газів та неметалевих вкраплин, а також подрібнення структурних складових сплаву та зменшення розмірів його зерна застосовують операції пічного оброблення.

1.2 Пічне оброблення розплавів

Основними технологічними операціями оброблення розплаву у печі є рафінування та модифікування.

Рафінуванням називається процес очищення алюмінієвого розплаву від неметалевих вкраплин та розчиненого водню. Рафінування здійснюють наступними методами: відстоюванням, вакуумуванням, обробленням інертними та активними газами, обробленням хлористими солями та флюсами, фільтруванням крізь різні фільтри тощо.

Для рафінування силумінів широко використовують флюси наступного складу: 35 % KCl , 50 % NaCl , 15 % Na_2SiF_6 та 40 % KCl , 35 % NaCl , 15 % Na_3AlF_6 , 10 % NaF . Їх вводять у розплав у рідкому стані в кількості від 0,5 % до 1,5 % від його маси та активно перемішують. Високий рівень дегазації

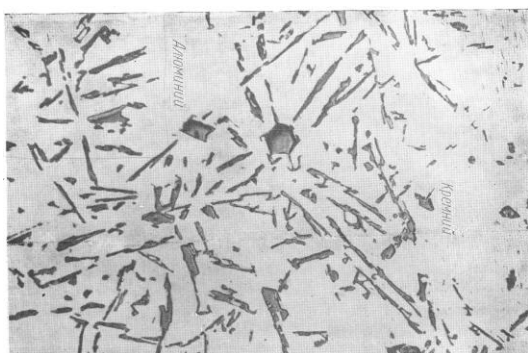
отримують вакуумуванням розплаву, який з печі зливають у ківш та поміщають у вакуумну камеру на період часу від 10 хв до 30 хв з остаточним тиском 1330 Па та температурою в діапазоні від 720 °С до 740 °С. Фільтрування через сітчастий, зернистий та пористий керамічні фільтри використовують для очищення розплавів від крупних вкраплин та плівок. Фільтри встановлюють в ливникових каналах та роздавальних ковшах, що дозволяє майже вдвічі знизити вміст крупних та дисперсних неметалевих вкраплин та плівок.

Модифікуванням називають метод регулювання процесу кристалізації оснований на введенні невеликої кількості добавок в розплав для подрібнення зерна та покращення механічних властивостей виливків.

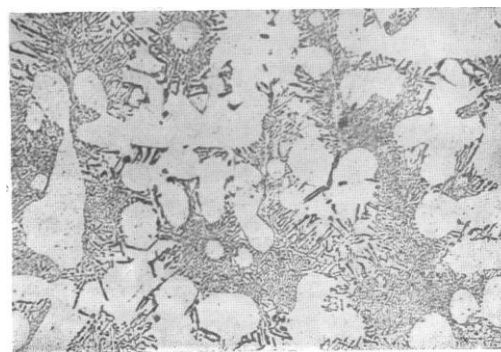
За М.В. Мальцевим розрізняють два роди модифікаторів:

- модифікатори I-го роду – модифікування тугоплавкими частинками (інокуляція);
- модифікатори II-го роду – модифікування поверхнево-активними елементами (лімітація).

Одним з можливих варіантів модифікування алюмінієвого розплаву є введення в нього поверхнево-активних елементів. Найбільш ефективним модифікатором силумінів з вмістом кремнію від 6 % до 13 % є натрій (рис. 9.2).



a



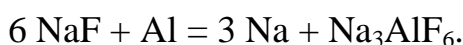
б

a – немодифікований силумін; *б* – модифікований силумін

Рисунок 9.2 – Мікроструктура заевтектичного силуміну з вмістом кремнію 13 %

Однак висока активність металевого натрію обумовлює використання на практиці його солей (NaF та NaCl).

Більш широке застосування одержало модифікування фтористими солями натрію. Але фторид натрію NaF має значно вищу температуру плавлення (993 °C), ніж температура рідкого силуміну під час модифікування. Тому замість одного фториду натрію використовують суміш фтористих і хлористих солей натрію та інших лужних металів з таким співвідношенням компонентів за масою, яке здатне утворити у силуміні легкоплавку сольову евтектику. Потрійна евтектична сольова суміш, яка складається з 25 % NaF + 12,5 % KCl + 62,5 % NaCl, має температуру плавлення 606 °C. Вона швидко розплавляється у силуміні перегрітому до діапазону температур від 730 °C до 750 °C. Сольовий флюс з мінімальною температурою плавлення забезпечує максимальний ступінь засвоєння натрію, який відновлюється алюмінієм з фториду за реакцією:



Вважають, що натрій адсорбується на поверхні зародків кристалів та уповільнює швидкість їх росту, що сприяє появі нових спонтанних зародків кремнію і, відповідно, подрібненню макро- та мікроструктури сплаву. Побічний продукт реакції – кріоліт Na_3AlF_6 може виконувати функцію рафінування рідкого металу від шкідливих неметалевих вкраплин оксиду алюмінію Al_2O_3 та дегазації від водню, який в значній кількості адсорбується на таких вкраплинах.

Для проведення операції модифікування суміш трьох солей, густиною $1,62 \text{ г/см}^3$, у кількості від 1 % до 2 % від маси розплаву засипають на поверхню дзеркала металу з наступною витримкою від 6 хв до 10 хв. Для інтенсифікації модифікування кірку сольової суміші подрібнюють і замішують у розплав. Перед розливанням залишки флюсу зчищають з поверхні розплаву.

Для подрібнення макро- і мікроструктури сплавів з меншим вмістом кремнію більш ефективно підвищувати швидкість охолодження, тобто заливати сплави у металеві форми.

Заевтектичні силуміни модифікують фосфором у кількості від 0,05 % до 0,10 % у складі фосфористої міді, вміст фосфору в якій зазвичай знаходиться в межах від 9 % до 11 %, або сумішшю червоного фосфору (20 %), фторцирконату калію K_2ZrF_6 (10 %) та хлориду калію KCl (70 %) у кількості від 1,5 % до 2,0 %. Вважається, що фосфор, як модифікатор другого роду, адсорбується на кристалах первинного кремнію, які виділяються з рідкого заевтектичного силуміну раніше, ніж евтектика, що сприяє подрібненню структури сплаву.

Будь-які структурні зміни у сплаві впливають на його механічні властивості. Однією з найважливіших механічних властивостей для металів та сплавів є тимчасовий опір під час розтягування, який розраховують за формулою:

$$\sigma_{\epsilon} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2} \quad (9.1)$$

де σ_{ϵ} – тимчасовий опір під час розтягування, МПа;

F – максимальне зусилля під час розтягування, Н;

d – діаметр зразка до випробування, мм.

На відміну від легування, ефект модифікування знижується в процесі ізотермічного витримання рідкого металу і цілком зникає під час вторинного переплавлення виливків. Такий негативний ефект, ймовірно викликаний окисленням, вигоранням, деактивацією модифікатору, має назву демодифікування сплаву.

2 Обладнання та матеріали

Модель стандартних зразків для визначення тимчасового опору під час розтягування, розривна випробувальна машина, три пари опок, модельна плита, моделі ливникової воронки та стояка, центрувальні штирі, лопата, гостра та плоска трамбівки, гладилка, лінійка, вентиляційна голка, молоток, заливальний ківш, кліщі, ножівка, штангенциркуль, перфорований стакан на штанзі, термopара занурення з потенціометром, формувальна суміш, сріблястий графіт, потрібний сольовий модифікатор, алюмінієвий розплав марки АК12.

3 Послідовність виконання роботи

Лабораторну роботу провести у наступній послідовності:

1. Заформувати три піщані форми для відливання у кожній формі трьох стандартних зразків для визначення тимчасового опору під час розтягування сплаву.
2. Підготувати потрібний сольовий модифікатор для евтектичного силуміну (див. п. 9.1), з розрахунку 2 % від маси розплаву у тиглі печі. Після зважування окремих компонентів ретельно їх перемішати суміш.
3. Зчистити шлак з поверхні розплаву, перегрітого у печі до температури від 700 °С до 710 °С.
4. Залити розплав у одну піщану форму для отримання зразків з вихідного силуміну.
5. Після охолодження металу вибити піщану форму і відокремити зразки від ливникової системи.
6. Заміряти діаметр кожного зразка (d , мм). За допомогою розривної випробувальної машини поступовим навантаженням зруйнувати зразки і зареєструвати максимальне зусилля під час розтягування (F , Н). Дані занести до таблиці 9.1.

7. Зчистити шлак з поверхні сплаву, перегрітого у печі до температури від 700 °С до 710 °С.

8. Виконати модифікування силуміну підготовленою трикомпонентною сольовою сумішшю у перфорованому стакані на штанзі.

9. Повторити п.п. 3 – 6.

10. Витримати модифікований сплав у печі за постійної температури протягом 30 хв.

11. Повторити п.п. 3 – 6.

Таблиця 9.1 – Результати дослідження

Стан силуміну	Зразок, відлитий у піщану форму					
	1		2		3	
	d , мм	F , Н	d , мм	F , Н	d , мм	F , Н
Немодифікований						
Модифікований						
Демодифікований						

12. Розрахувати тимчасовий опір під час розтягування сплаву (σ_b , МПа) для кожного зразка. Результати розрахунків занести до таблиці 9.2.

Таблиця 9.2 – Результати розрахунків

Стан силуміну	Тимчасовий опір при розтягуванні, МПа			
	σ_1	σ_2	σ_3	$\overline{\sigma_{cp}}$
Немодифікований				
Модифікований				
Демодифікований				

4 Аналіз отриманих результатів та висновки

Визначити середнє арифметичне значення тимчасового опору під час розтягування. За середньоарифметичними значеннями побудувати у довільному масштабі гістограму тимчасового опору під час розтягування немодифікованого, модифікованого та демодифікованого силуміну зразки з якого отримані литтям в піщану форму. Проаналізувати результати дослідження та сформулювати висновки про вплив модифікування та швидкості охолодження на тимчасовий опір під час розтягування силуміну.

5 Оформлення звіту

- назва та мета роботи, теоретичні відомості (за бажанням);
- послідовність виконання роботи;
- гістограма тимчасового опору під час розтягування немодифікованого, модифікованого та демодифікованого силуміну зразки з якого отримані литтям в піщану форму;
- аналіз отриманих результатів;
- висновки за результатами роботи.

6 Контрольні завдання та запитання для підготовки до роботи

1. Що таке силуміни?
2. Наведіть основні фактори, які впливають на механічні властивості силумінів.
3. З якою метою проводять технологічну операцію модифікування?
4. Що таке рафінування?
5. Наведіть модифікатори які застосовуються для силумінів.

7 Список рекомендованої літератури

Література: [4], [6], [10].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Виробництво ливарне. Терміни та визначення : ДСТУ 2541-94. – Чинний від 1995–07–01. – Київ : Держстандарт України, 1994. – 65 с.
2. Дорошенко С. П. Взаємодія піщаної форми з виливком : навч. посібник / С. П. Дорошенко. – К. : УМВ ВО, 1991. – 68 с.
3. Дорошенко С. П. Формувальні суміші : навч. посібник / С. П. Дорошенко. – К. : ІЗМН, 1997. – 140 с.
4. Теоретические основы литейной технологии : пособие для вузов / А. Ветишка, Й. Брадик, И. Мацашек, С. Словак ; под ред. проф. К. И. Ващенко ; пер. с чешского В. П. Авдокушина. – Киев : Вища школа, 1981. – 320 с.
5. Каширцев Л. П. Литейные машины. Литье в металлические формы : учебное пособие / Л. П. Каширцев. – М. : Машиностроение, 2005. – 368 с.
6. Гини Э. Ч. Технология литейного производства. Специальные виды литья : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Э. Ч. Гини, А. М. Зарубин, В. А. Рыбкин. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 352 с.
7. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия : справочник / А. Н. Болдин, Н. И. Давыдов, С. С. Жуковский и др. – М. : Машиностроение, 2006. – 507 с.
8. Технология литейного производства: литье в песчаные формы : учебник для студ. высш. учеб. заведений / А. П. Трухов, Ю. А. Сорокин, М. Ю. Ершов и др. ; под ред. А. П. Трухова. – М. : Издательский центр «Академия», 2005. – 528 с.
9. Магницкий О. Н. Художественное литье : учебник для технических вузов и художественно-реставрационных училищ / О. Н. Магницкий, В. Ю. Пирайнен. – СПб. : Политехника, 1996. – 231 с.
10. Производство отливок из сплавов цветных металлов : учебник для вузов / А. В. Курдюмов, М. В. Пикунов, В. М. Чурсин, Е. Л. Бибики. – М. : МИСИС, 1996 – 504 с.

ДОДАТОК А

ФОРМУВАЛЬНИЙ І ОБРОБЛЮВАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ

Для ручного ущільнення формувальної суміші застосовують гострі трамбівки (рис. А.1, а, 1.1), плоскі трамбівки (рис. А.1, а, 1.2), комбіновані трамбівки (рис. А.1, а, 1.3), а також пневматичні трамбівки (рис. А.1, а, 2).

Комбіновані трамбівки виконуються як з металевими, так і з гумовими башмаками.

Для доопрацювання форм застосовують оброблювальний інструмент (рис. А.1, б): плоскі гладилки 6, фасонні гладилки 7, торцеві гладилки 8, гачки 9, полозки 10, ложечки 11, ланцети 12.

Для фарбування форм (рис. А.1, в) використовують: пензлик 13, пульверизатор для малих форм 14, пульверизатор для крупних форм 15.

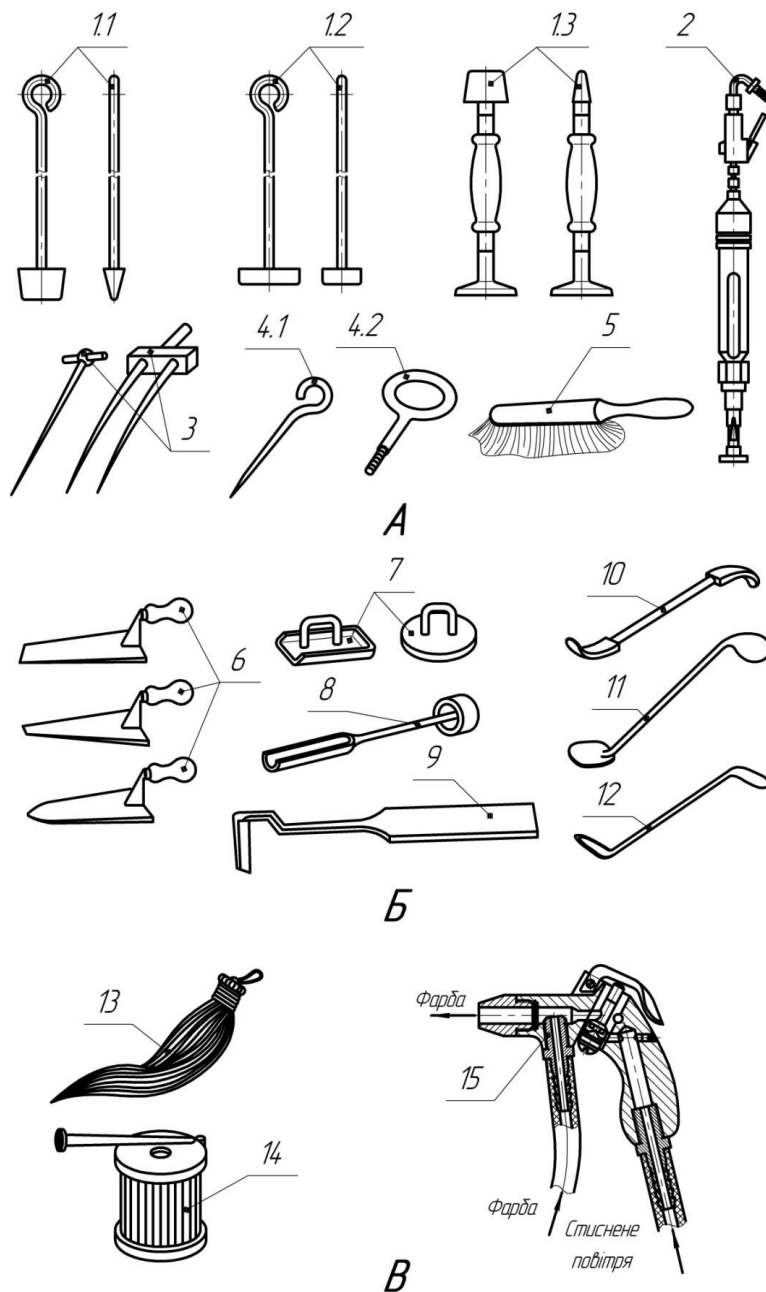
Гладилки конструктивно виконують з прямокутним, вузьконосим або загостреним полотном.

Полозки виконують з прямою та заокругленою робочою поверхнею.

Гачки конструктивно виконуються прямими або з п'ятою.

Для виконання вентиляційних отворів у формі використовують короткі і довгі (рис. А.1, а, 3) вентиляційні голки.

Для видалення дерев'яних моделей із напівформ використовують гострий підйом (рис. А.1, а, 4.1). Його забивають за допомогою молотка в модель, після чого піднімають її з напівформи. Для видалення металевих моделей з напівформ використовують нарізний підйом (рис. А.1, а, 4.2).



A – інструмент для виготовлення форм; *Б* – інструмент для доопрацювання форм; *В* – інструмент для фарбування форм

1.1 – гостра трамбівка; 1.2 – плоска трамбівка; 1.3 – комбінована трамбівка;
 2 – пневмотрамбівка; 3 – вентиляційні голки; 4.1, 4.2 – підйоми; 5 – щітка;
 6 – плоскі гладилки; 7 – фасонні гладилки; 8 – торцева гладилка; 9 – гачок;
 10 – полотно; 11 – ложечка; 12 – ланцет; 13 – пензлик; 14 – пульверизатор для дрібних форм; 15 – пульверизатор для крупних форм

Рисунок А.1 – Інструмент, який використовують у процесі виготовлення форм

Навчальне видання

Ірина Миранівна ГУРІЯ

Іван Віталійович ЛУК'ЯНЕНКО

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВ
ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
(ЧАСТИНА 2)**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

*для студентів вищих навчальних закладів,
які навчаються за спеціальністю 132 «Матеріалознавство»,
освітніми програмами «Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»,
«Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання», «Металознавство та
комп'ютерне моделювання процесів термічної обробки»
денної та заочної форм навчання*

Друкується в авторській редакції

Підписано до друку 01.11.2019. Формат 60x84 1/16

Друк цифровий. Папір офсетний.

Ум. друк. арк. 6. Тираж 50 прим.

ТОВ «Офсет», м. Біла Церква,
вул. Героїв Небесної Сотні, 2, тел.: (067) 994-41-48